

技術文化論叢

第9号(2006年)

東京工業大学技術構造分析講座

『技術文化論叢』第9号(2006年)

目次

論文

- Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction
During World War II? —From the Viewpoint of Nuclear Reactor Physics—
Yuzo FUKAI (深井佑造) 1

- 中国における日本の「植民地科学」(一)
—範囲・時代・史料・問題意識— 梁波 28

資料紹介

- 浅田常三郎先生と長岡半太郎先生とフリッツ・ハーバー先生
福井崇時 41

2005年度博士・修士論文梗概

<博士論文梗概>

- 明治期における技術者の分析
—近代技術確立をめぐる職人と職人的技術者— 恒川清爾 67
- コンピュータにおけるGUI発展過程に関する研究 姜波 86

<修士論文梗概>

- 矛盾許容型論理PCL2の研究 斉田泰伸 116
- The Study on Elementary Protothetic 董遠 120
- 1930年代のナチスドイツにおける数学の正当化
—数学教育の観点から— 宮本英司 124

論文

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

—From the Viewpoint of Nuclear Reactor Physics—

Yuzo FUKAI

Abstract

The German program to achieve a chain reaction during World War II started at almost the same time as the American program. Whereas the American CP-1 could initiate a chain reaction as early as December 1942, the German quest for nuclear reaction ended without a productive result. The last German experimental device failed in April 1945. This paper looks at reasons for this failure from the viewpoint of nuclear reactor physics. In those days, it was extremely difficult in any country to procure the least amount of materials necessary to produce a chain reaction because an industrial infrastructure to provide high quality materials was not yet established. The minimum amount of uranium or fissionable material was estimated by critical mass calculation which was dependent mainly on an optimal weight ratio of moderator to uranium. The American researchers developed an elementary nuclear reactor theory for that estimation, and succeeded in building CP-1 by using an optimized method of this theory. In spite the fact that M. F. Perrin's method, which is shown here to have an equivalent theoretical skeleton to the elementary reactor theory, had already been public before the German program started, the German researchers adhered to a different estimation method that they developed themselves, and then disregarded the optimization concept suggested in Perrin's paper. Furthermore they ignored the effect of reflector in their calculation of the critical mass, based upon the Haigerloch sub-critical experiment. Such reasons played a crucial role in their failure in nuclear chain reaction. This paper argues that their adherence to their own estimation method was a result of their superiority complex.

1 Introduction

During 1939 and 1940, most nuclear physicists understood that a fission chain reaction (by thermal neutron) in light water moderated natural uranium system was unfeasible. Then, for the sake of feasibility of the chain reaction in natural uranium system, they chose either graphite or heavy water that had a lower absorption thermal neutron cross section than light water as a moderator, and American physicists selected graphite, whereas German physicists, heavy water. In Germany, since the experimental results of W. Bothe clarified that the domestic graphite had more impurity, and a lot of heavy water could be obtained from the Norsk Hydro electrolytic company of Norway under the control of Germany, the Heereswaffenamt (the weapon development administration office) decided on heavy water as the moderator⁽¹⁾. To the contrary, in the USA of the time, it was difficult to obtain a lot of heavy water, but a large amount of the high qualified graphite was easily obtainable.

In order to achieve a chain reaction as early as possible due to the rivalry for a nuclear development under the War conditions, it seems that the German plan was preferable to the American one, because heavy water has a lower absorption thermal neutron cross section than graphite. However, the fact of the matter is that the American graphite moderated pile: CP-1 has initiated the chain reaction in December 1942, and, even in April 1945, the chain reaction research failed in the last German experimental facility. Furthermore, the starting date of the both American and German programs was September 1939. Thus, in spite that it took about three years and half to achieve the chain reaction in the American case, the German program did not produce a breakthrough in its five and half year period, until the experimental facility was confiscated by the American army.

The reason that the German plan failed in the chain reaction is generally considered to be insufficient funding, or the total destruction of domestic manufacturing industries and transportation in a heavy air raid⁽²⁾. However, since twenty experiments carried out at many facilities to achieve a chain reaction until all the German research efforts were stopped⁽³⁾, the author doubts if there was a nuclear physical reason except for the above-mentioned one for the German failure.

As generally explained in a previous paper⁽⁴⁾, the underlying principle for a chain reaction physics is far simple. The balance of neutrons, namely, the rate of production is equal to a sum of the rate of absorption (disappearance) and leakage of neutron in a given volume of the neutron multiplying medium in a steady state. Then, the general equation representing this balance is shown as follows:

$$(\text{Production}) = (\text{Absorption}) + (\text{Leakage}) \quad (1)$$

In the Equation (1), Absorption contains the effect of neutron absorption to the fissionable material which occurs the neutron generation by the fission effect of this material in the medium. The amount of this neutron generation is (Production) term of the left side of Eq. (1). Thus, Eq. (1) implies a concept of neutron circulating cycle:

$$\begin{aligned} &(\text{neutron disappearance}) \rightarrow (\text{neutron generation}) \rightarrow (\text{neutron disappearance}) \\ &\rightarrow (\text{neutron generation}) \rightarrow (\text{neutron disappearance})\dots \end{aligned}$$

Therefore, it is called 'fission (neutron) chain reaction'. Here is a definition of the effective multiplication factor: k_{eff} ,

$$k_{\text{eff}} = \frac{(\text{Production})}{(\text{Absorption}) + (\text{Leakage})} \quad (2)$$

since it is clear that $k_{\text{eff}} = 1$ is equivalent to Eq. (1), $k_{\text{eff}} = 1$ is shown as producing a chain reaction for a system to be discussed. In other words, the system becomes critical. Next, an important physical concept of the infinite multiplication factor, k_{∞} can be defined as follows:

$$k_{\infty} = \frac{(\text{Production})}{(\text{Absorption})} > 1 \quad (3)$$

Since an actual system is always finite, the term (Leakage) >0 . Then, Eq. (3) is derived from Eq. (2). Namely, $k_{\infty} > 1$: Eq. (3) is the necessary condition for achieving a chain reaction. In other words, if only a system meets Eq. (3) condition succeeds to be constructed, and

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

such a system is enlarged, the chain reaction should become feasible.

Since nobody can produce the Eq. (3) condition in the light water moderated natural uranium system, either graphite or heavy water was selected as the moderator. However, heavy water content is only about 0.015% in ordinary water, and also even marketable graphite generally shows high thermal neutron absorption effect. During World War II, it was in every countries extremely difficult to procure the necessary amount of the materials to achieve a chain reaction, because an industrial infrastructure to supply the materials of high quality was not yet established. Thus, all the nuclear researchers who intended to produce a chain reaction had to solve the issue of procuring the least necessary amounts of the moderator material and the natural uranium.

After World War II, Heisenberg reported several k_{∞} values arranged from values of their experiments according to the definition which is described in the Smyth Report⁽⁵⁾, as shown in his 'Anhang' report⁽³⁾. Then, the k_{eff} values of their experiments by using the arranged k_{∞} values and their measured 'Vermehrungsfaktor' Z values which are the ratio of the total neutron leakage to the strength of neutron source can be estimated⁽⁶⁾. Table 1 shows the values of k_{∞} and k_{eff} for the German experiments in order of year and comparison with the developments in USA.

Because of the success of Leipzig device meeting the Eq. (3) condition in September 1941, Germany seemed the first winner for the USA-Germany rivalry⁽⁷⁾. This German Leipzig device: L₄ had the uranium oxide and heavy water of 150 liter. However, a increasing rate of k_{∞} value every year is 0.038/yr in Germany, since the value of k_{∞} was 0.92 in 1940 and 1.11 in 1945, as shown in Table 1. On the contrary, the same increasing rate for the case of USA was 0.14/yr: about 4 times as fast as that of Germany, since k_{∞} was 0.89 in August 1941 and 1.07 in December 1942 for the graphite moderated natural uranium system, and surely USA then won the USA-Germany rivalry by the success of its chain reaction. Furthermore, even in the case of the heavy water moderated natural uranium system, USA beat Germany in 1944, as shown in Table 1.

Table 1: German values of k_{∞} and k_{eff} and comparison with that of USA

year	ex. name	k_{∞}	Z	k_{eff}	USA	remarks
1940	B ₁	0.92	< 1	-		
1941	L ₄	1.01	1.1	0.91		Leipzig device
1941					$k_{\infty}=0.89$	Columbia pile
1942	G ₂	1.09	1.37	0.82		
1942					$k_{\infty}=1.07$ $k_{\text{eff}}=1.0006$	CP-1
1943	B _{6b}	1.08	2.35	0.95		
1944					$k_{\infty}=1.22$ $k_{\text{eff}}=1$	F-Z reactor*
1944	B ₇	1.08	3.06	0.97		
1945	B ₈	1.11	6.7	0.98		Haigerloch device

In this Table, asterisk *, shows the world-wide first success of the chain reaction in a heavy water moderated natural uranium system by E. Fermi and W. Zinn, and 'ex. name' is the symbol of the German experiment.

This paper looks at, first, the Fermi-Zinn reactor which is described in the United States Patent # 2708656⁽⁸⁾. Then it will assess the R&D program that achieved $k_{\infty} > 1$ in Germany. Finally, it will discuss the reason for the German failure on the basis of the differences in the technology of nuclear physics in the USA and Germany during World War II.

2 R&D on Heavy Water Moderated System in USA

2.1 Fermi-Zinn Reactor for Construction of CP-3

In the patent application by Fermi and Zinn, the Fermi-Zinn reactor is explained as an experimental heavy water moderated natural uranium system for achieving a chain reaction. The constitution of the Fermi-Zinn reactor shown in 'Figure' of the vertical cross section described in the patent almost agree with the those of CP-3. It is from this fact that it can be considered that the Fermi-Zinn reactor was built as a model of CP-3 in order to prove a chain reaction in the heavy water moderated system. Since CP-3 was built in May 1944⁽⁹⁾, it is sure that the date of the success of the chain reaction in this system came before that, and perhaps prior to the construction of Haigerloch device in Germany.

An approach to criticality for the Fermi-Zinn reactor was that a level of heavy water is raised to a height of 122.4 cm, being poured into the Al tank with the arrangement of 136 natural uranium rods. Then, the whole amount of the critical mass can be measured by such a method, only when a volume ratio of heavy water to uranium is beforehand determined. Although its method approaching to criticality is same as in the case of the CP-1, it is quite different from the case of the Haigerloch device. Namely, Fermi and Zinn already had a calculating method, by which a critical size for the system can be forecasted. This method is the elementary nuclear reactor theory⁽¹⁰⁾ which was developed by Fermi's group during the construction of the CP-1. A schematized concept of the theory is quite similar to the one published⁽¹¹⁾ in May 1939 by M. F. Perrin as shown in Appendix A. It should be noted that the publication date of the Perrin's paper preceded the start of the rivalry.

The estimation of the above mentioned criticality of the Fermi-Zinn reactor by use of the elementary reactor theory is examined next⁽¹²⁾. First, k_{∞} value: 1.22 of the Fermi-Zinn reactor is derived from 'Figure (with signatures of Fermi and Szilard) of the k_{∞} values as parameters of the uranium rod radius and the volume ratio' described in the patent. Approximating to a sphere from the actual cylindrical shape of the Fermi-Zinn reactor, the sphericalized reactor has a radius of 92 cm with the thickness 71 cm of the graphite reflector. Using the elementary reactor theory⁽¹⁰⁾, the critical size of the sphericalized reactor with the k_{∞} value of 1.22 is calculated and the results are shown in Table 2, where the specifications of CP-3 is added for reference. It is then from the Table 2 clear that the calculated values by use of the elementary reactor theory agree well with the actual critical masses of uranium and heavy water of the Fermi-Zinn reactor.

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

Table 2: Specific of Heavy Water Moderated System of USA

item	critical radius	reflector thickness	graphite	uranium	heavy water	W/U*
F-Z reactor						
: actual	92 cm	71 cm	24.1 ton	1.85 ton	3.41 ton	1.84
: calculation	95 cm	70 cm	25.9 ton	2.07 ton	3.83 ton	1.84
CP-3	—	61 cm	—	3.0 ton	5.34 ton**	1.78

*: The weight ratio of heavy water to uranium.

** : The upper heavy water reflector has 1.16 ton=about 10 cm of the thickness, then the total amount is 6.5 ton⁽⁹⁾.

2.2 Optimization

Since it was extremely difficult to procure the necessary amount of the materials to achieve a chain reaction in those days, as mentioned before, it was very significant to estimate a optimal volume ratio of moderator to uranium which decides mainly the nuclear properties of the reactor, especially the critical mass. E. P. Wigner and G. N. Plass attempted to calculate a 'optimal lattice' for the construction of CP-1 in early 1942⁽¹³⁾. They obtained a volume ratio, of which the core has the lattice with the highest value of k_{∞} . Calculation of the lattice with the highest value of k_{∞} had already been proposed by L. Szilard in January 1940⁽¹⁴⁾. The optimization of the lattice was a common physical knowledge among Fermi's research group. Although they have not explained a physical reason that k_{∞} has the highest value at a specific volume ratio of lattice, the physical property had been explained by O. Minakawa and H. Tamaki⁽¹⁵⁾. In Japan, such an optimization concept had been adopted in the estimation⁽¹⁶⁾ of 'Ni Go study' operated by the Riken (the Institute of Physical and Chemical Research) during World War II. The Riken researchers developed this concept by studying Perrin's paper⁽¹¹⁾. As shown in Appendix A, since his calculating method has the same theoretical skeleton as the elementary reactor theory, the Japanese optimization might be considered to have been essentially equivalent to that of USA at the time.

In the patent, there is the following description for the heavy water moderated natural uranium system, that is equal to the above-mentioned 'Figure'.

When heavy water is used as moderator, higher k_{∞} approaching 1.3 is obtainable.

Since the range of the volume ratio which is satisfied with Eq. (3) condition in the heavy water moderated system is wider and the values of k_{∞} is far over unity, it would be not necessarily adapted that the core has the highest value of k_{∞} approaching 1.3. Then, k_{∞} value of the Fermi-Zinn reactor of 1.22 was adopted but not the maximum value. However, all the k_{∞} values of the German device shown in Table 1 seem to have been fairly lower than the ones given in the patent.

3 R&D for Heavy Water Moderated System in Germany

3.1 Organization in nuclear reactor physics in Germany

Research was carried out by the following 4 research groups,

research group	devices	researchers
(1) Physics Department of Leipzig University	$L_1 \sim L_4$,	K. Döpel, W. Heisenberg.
(2) Gottow Test Factory of Heereswaffenamt	$G_1 \sim G_3$,	F. Berhei, W. Czulius, K. Diebner, G. Hartwig, W. Herrmann.
(3) Central Laboratory of K.W.I. for Physics	$B_1 \sim B_8$,	F. Bopp, E. Fischer, W. Heisenberg, K. Wirtz.
(4) Heidelberg Branch of K.W.I.	no device,	W. Bothe, P. Jensen, O. Ritter.

A number of the total experiments was 20. $L_1 \sim L_4$ and $B_2 \sim B_5$ had a spherical shape. B_1 and $B_6 \sim B_8$ had a cylindrical shape with the same height as the diameter. Since an exact analytical solution can be derived only from a spherical configuration, it is better considered that the configuration to be estimated is a cylinder having the same height as the diameter. There is no detailed information for $G_1 \sim G_3$.

The German researchers understood that a system with $k_\infty > 1$ had possibility of a chain reaction, enlarging the size of this system, and then they might have thought about the possibility of achieving a chain reaction in a system, which had the same constitution as L_4 , if heavy water of 5 ton and natural U of 10 ton were procured⁽¹⁷⁾. However, since such amounts were considered to be enormous and unavailable in those days, the onward R&D was afterward continued to be carried out for achieving a chain reaction in a system with the less amounts. Although the total 20 experiments then carried out, the results of the German R&D after achieving $k_\infty > 1$ are dealt with here.

3.2 Preliminary Experiments for Construction of Haigerloch Device

The experiments with a slab type fuel of $B_6 \sim B_7$ had been carried out at (3) in 1943-44 by Bothe and E. Fünfer. The results decided the weight ratio of heavy water to uranium (W/U) and also showed superiority of graphite over light water as a reflector. The results of the $B_6 \sim B_7$ experiments are shown in Table 3.

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

Table 3: Result of B₆ ~ B₇ experiment

ex. name	B _{6a}	B _{6b}	B _{6c}	B _{6d}	B ₇
thickness of U [cm]	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0
uranium metal [ton]	2.12	1.25	0.89	1.78	1.25
heavy water [ton]	~1.5	~1.5	~1.5	~1.5	~1.5
W/U ratio	0.71	1.2	1.65	0.84	1.2
measured Z value	1.56	2.35	2.12	2.06	3.6

As explained later, the German researchers considered that a chain reaction can be expected to occur, when the measured Z value becomes infinite. The larger the Z value, the nearer approach to criticality. Perhaps with such a consideration, they decided the following issues for a new direction of R&D to achieve the chain reaction,

- (i) A preferable value of the W/U ratio is about 1, because of the higher measured Z value.
- (ii) Graphite reflector is more preferable.
- (iii) Larger lump of the fuel is not necessarily preferable, seeing the case; B_{6d} of 2 cm thickness.

3.3 Outlines of Haigerloch Device: B₈

According to the above direction, each about 1.5 ton of natural uranium and heavy water are prepared for construction of a new device: B₈. Since it was proved, at Gottow Test Factory: (2) in the beginning of 1941 by the experiments of the heterogeneous lattice in the U-paraffin sphere, that a cube of the fuel is preferred to a slab type, the supplied uranium metal for Haigerloch device was mechanically processed to cubical shape. Although 6-7 cm of the side length may be preferable from theoretical consideration,

- (iv) The side length of 5 cm is adopted, in the light of Gottow result and the above-mentioned (iii).

Then, the 680 cubical uranium fuels were supplied to Haigerloch site.

The whole size of Haigerloch device was the height and the diameter of 210 cm, including the graphite reflector of 10 ton with the thickness of 40 cm which perfectly surrounds a core. The core has the height and the diameter of 124 cm. The loaded cubical uranium fuels in the core are suspended in the regular intervals by 78 chains, of which each of the 40 chains has 9 fuels and one of the 38 chains has 8 fuels. Therefore, the actual total number of the loaded fuels is 664, and the amount is 1.49 ton. The heavy water was poured over the loaded fuels in the core, and then the total amount of the heavy water with the density of 1.1 g/cc was about 1.54 ton. It means that

$$\text{Haigerloch core had the W/U ratios, weight of 1.03 and volume of 16.9.} \quad (4)$$

Furthermore, sphericalizing the actual Haigerloch device, the resultant configuration is as follows,

$$\text{The radius of the core is 71 cm and the graphite reflector thickness is 50 cm.} \quad (5)$$

The procedure of constructing the Haigerloch device was remarkably different from the case of Fermi-Zinn reactor. If a criticality can not be clearly predicted, it should be necessary to have enough spare parts of the materials: fuel and moderator. Seeing such a procedure, perhaps one may think that Heisenberg expected to achieve a chain reaction in the Haigerloch device. However, the actual result of the Haigerloch device betrayed Heisenberg's expectation. The resultant Z is

$$Z = 6.7 \quad (6)$$

which was equal only to twice Z value of B_7 . Thus, a goal of the way to achieve the chain reaction in Germany is considered to be far away.

3.4 A Summary of German Results after Achieving $k_{\infty} > 1$

In Table 4 are shown the specifications and experimental results of the device to achieve a chain reaction of heavy water moderated natural U system in the German project, similar to the one which was operated during and immediately after World War II in the countries except for Germany.

Table 4: Weight Ratio of Heavy Water to U (D_2O/U) for Each Device

	Device	U [ton]	D_2O [ton]	$(\frac{D_2O}{U})$	Z	References
Ger	L_2	0.142(U_3O_8)	0.164*	1.15	~ 1	(3) 1941
	L_4	0.755	0.164*	0.22	1.1	(3) 1942
	H.P.	3(plate)	1.5	0.5	?	(17)
	G_{2a}	0.189(cube)	0.189(ice)	1.0	1.65	(17)
	B_{6a}	2.12(plate)	1.5	0.71	1.56	(3) 1943
	B_{6b}	1.25(plate)	1.5	1.2	2.35	(3) 1943
	B_{6c}	0.89(plate)	1.5	1.65	2.12	(3) 1943
	B_{6d}	1.78(plate)	1.5	0.84	2.06	(3) 1943
	B_7	1.25(plate)	1.5	1.2	3.6(3.06)**	(3) 1944
	B_8	1.49(cube)	1.54	1.03	6.7	(3) 1945
	H.F.	2.30	2.37	1.03	$\infty : k_{eff} = 1$	(3)
USA	F-Z	1.85	3.41	1.84	$\infty : k_{eff} = 1$	(8) before 1944/5
	CP-3	3.0	5.34	1.78	$k_{eff} > 1$	(9) 1944/5
	NRX	10.5	17.0	1.62	$k_{eff} > 1$	(9) 1947/8
FRN	ZOE	3.0	4.6	1.53	$k_{eff} > 1$	(9) 1948/12
	P-2	3.3	6.3	1.61	$k_{eff} > 1$	(9) 1952/10
Nor	JEEP	2.42	7.0	2.89	$k_{eff} > 1$	(9) 1951

Note: * =150 liter; **: Z values of 3.6 in 'Table 3', and 3.06 in 'Table 4' of ref. (3).

Abbreviation: Ger=Germany, H.P. =Heisenberg's next plan, H.F. =Heisenberg's forecast, F-Z=Fermi-Zinn, FRN=France, Nor=Norway.

The following conclusion can be easily drawn from Table 4.

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

The weight ratio of heavy water to natural U (D_2O/U) for the German device was below 1.2, except for B_{6c} , and lower than all other countries.

Next, selecting the experimental results of the German device which meets the condition of $Z > 1$ from Table 4, and, rearranging the Z and k_∞ value as function of D_2O/U , the following Table 5 is obtained,

Table 5: Rearranged Data from Table 4

D_2O/U	0.22	0.71	0.84	1.0	1.03	1.2	1.2	(1.65)
Z	1.1	1.56	2.06	1.65	6.7	2.35	3.6	(2.12)
k_∞	1.01	-	-	1.09	1.11	1.08	1.08	(-)
Device	L_4	B_{6a}	B_{6d}	G_{2a}	B_8	B_{6b}	B_7	(B_{6c})

Since the Z -value depends on variable specifications of the core and the reflector, its relation to the D_2O/U can not be so strictly discussed, but may be roughly considered to have a proportional increase. On the contrary, the k_∞ value can be considered to be in proportion to the D_2O/U , since it depends only on the specifications of the core, unless a form of the U is remarkable: the U form of G_{2a} and B_8 is a cube and the others are not so. It is clearly understood from Table 5 that the performance (k_∞ and Z values) of the devices to achieve a chain reaction was improved by increasing D_2O/U .

On the other hand, the construction date of the devices is put in chronological order, then,

$$L_4 \rightarrow G_{2a} \rightarrow B_{6a} \rightarrow B_{6b} \rightarrow B_{6c} \rightarrow B_{6d} \rightarrow B_7 \rightarrow B_8$$

the above order is quite irrelevant to the trend of increasing D_2O/U shown in Table 5. Therefore, the German researchers who engaged in the German project were perhaps not interested in the following physical assumption:

the core having moderately higher D_2O/U value is preferable for achieving a chain reaction.

The above fact means that the German project had not reached the stage of an optimization study for the weight ratio of heavy water to U, which was considered to be very important for a nuclear development of the USA Fermi's⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ and Japan RIKEN's research group⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾.

In the German project, the stage of such an optimization study would not find, or this study could not be carried out. The reasons for this is that the German researchers had mainly used Heisenberg-Wirtz's method for the analysis and the physical interpretation of their experimental results, and the method was moreover unsuitable for the physical forecast. However, since they had not included the optimization study in their plan, they had selected a system with $D_2O/U = 1$ and only forecasted the chain reaction of the system having both D_2O and U of about 2 tons available in Germany of the time.

Seeing Table 4 and comparing the German experimental results with the actual operated ones in the countries except for Germany, the ratio of D_2O/U to be adopted for a future device in Germany might be speculative to be preferred to be over 1.5. Although French

ZOE has $D_2O/U = 1.53$, the each weight of the constituent materials was heavier than the critical mass because of a research purpose. Furthermore, considering the actual operating result of Fermi-Zinn reactor which had lower value than 2 tons as critical weight of U, the speculated specification of the future device to achieve a chain reaction in Germany would be perhaps as follows,

$$U \text{ of about } 2 \text{ [ton]}, \text{ heavy water of about } 3 \text{ [ton]}, \text{ and } \frac{D_2O}{U} = 1.5. \quad (7)$$

Accordingly, it might be presumed that although a sufficient amount of U was secured (see B_{6a} in Table 4), about 1 ton of heavy water was short for achieving a chain reaction in Germany during World War II. It is also remarked⁽¹⁸⁾ that the available total amount of heavy water in those days was 'never more than 2.5 ton'. Since the amount of heavy water sunk to a fjord by the Norwegians' attack was 613 liter (0.67 ton), if this attack had not taken place, an available total amount would have been over 3 tons. It would be then imaginable that the improvement of the weight ratio had changed the outcome of the German R&D.

As explained before, USA had succeeded the chain reaction of the heavy water moderated natural uranium system by use of the elementary reactor theory developed by themselves. It can be from Table 2 understood that the criticality can be predicted by this theory. Before the German R&D started in September 1939, Perrin had already published a paper⁽¹¹⁾, which calculated a method for the chain reaction of a homogeneous system in May of the same year. The theoretical skeleton of the Perrin's paper is equal to the elementary reactor theory, as showed in Appendix A.

However, the German researchers actually never used any foreign method, and adopted a domestic method⁽¹⁹⁾ developed by Heisenberg, which is remarkably different from the elementary reactor theory or the Perrin's calculating method. This difference has been discussed by R. Persson⁽²⁰⁾ in the study on k_{∞} measurement for light water moderated natural uranium systems. In his conclusion, the following opinion for the difference between Heisenberg-Wirtz's method and the elementary reactor theory which is equivalent to the Perrin's method is shown,

The differential method (the elementary reactor theory or Perrin's method) is more straightforward than the integral method (Heisenberg-Wirtz's method). In the integral method one has to apply several correction to the measured quantities, and it is very difficult to estimate the errors in these correction, which are found theoretically.

Nobody could have doubts as that Heisenberg-Wirtz's method is physically correct because it is fundamentally introduced from the neutron balance; Eq. (1) in a chain reacting system. And this fact could be clarified by Persson's results⁽²⁰⁾. However, when a spatial behavior of neutrons in their basic concepts is mathematically described, 'differential' method is adopted in Fermi's or Perrin's case, and, on the contrary, Heisenberg-Wirtz's method has 'integral' type. Thus, the Persson's conclusion 'the differential method is more straightforward than the integral method' is derived. Since the effects of neutron absorption and fission within the system and neutron leakage from the system are all inseparably contained in the Heisenberg-Wirtz's equation as the measured values, 'differential' method is generally thought to be superior to 'integral' type for discussion on a fair prospect of success to achieve a chain

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

reaction. Namely, Heisenberg-Wirtz's method would be considered to have been unsuitable for an optimization study.

By using nuclear data which are considered to reappear the German technology level in those days as faithfully as possible⁽¹²⁾ and the elementary reactor theory, a result which can be justified to be nearly able to reappear the main properties of the German device is shown in Table 6.

Table 6: Comparison in Main Properties of Haigerloch Device

item	measure	calculation	calculation/measure
infinite multiplication factor: k_{∞}	1.11	1.14	1.03
‘Diffusionslänge’ [cm]	36.3	38.0	1.05

3.5 Heisenberg's Forecast from the Haigerloch Results

Heisenberg had insisted that the experiment results of the Haigerloch device indicated a chain reaction in Germany was possible. Since the details of his developed estimation is explained in Appendix B, his forecast and its shortcoming are briefly described here.

First, Heisenberg gave the following equation as a peculiar boundary condition between the core and the reflector at the radius: R of the sphericalized core,

$$\frac{d}{dr}(nr) = -B\gamma(nr) \quad (\gamma = \text{const}) \quad (8)$$

where, r is a radial coordinate of the sphericalized core, n is a neutron density of the core, and B is the buckling: the reciprocal of ‘Diffusionslänge’. By using the above boundary condition, a value of Z can be derived from Eq.(B9) of n in Appendix B and the definition of Z as follows,

$$Z = \frac{1 + \gamma BR}{\cos(BR) + \gamma \sin(BR)} \quad (9)$$

Since the critical condition: achieving the chain reaction is ‘ $Z \rightarrow \infty$ ’, Heisenberg had derived the following critical equation from Eq. (9),

$$\cot(BR) = -\gamma \quad (10)$$

Then, Heisenberg had forecasted a critical mass of a next chain reacting device to be constructed in Germany from the Haigerloch results: $Z=6.7$ and ‘Diffusionslänge’ by using Eqs. (9) and (10). Although Heisenberg had said that ‘Diffusionslänge’ is about 35 cm, the value of ‘Diffusionslänge’: $1/B$ is derived from Eq. (9) and $\gamma=0.824$ as follows,

$$\frac{1}{B} = 36.3 \text{ [cm]} \quad (11)$$

Therefore, since $BR=2.26$ is obtained by Eq. (10) with $\gamma=0.824$, a forecasted critical radius becomes 82 cm from Eq. (11), and is 1.15 times the radius: 71 cm of the Haigerloch device. Converting these values to the critical mass of the next future chain reacting device to be constructed,

$$\text{natural uranium; 2.30 [ton],} \quad \text{heavy water; 2.37 [ton]} \quad (12)$$

are obtained. Thus, Heisenberg had insisted that they would succeed the chain reaction, if the both materials of about 2 tons were available. As shown in Table 3, Heisenberg surely had 2.12 ton of uranium for the experiment of B_{6a}. With regard to the available amount of heavy water in Germany, the following words can be quoted from Heisenberg's paper⁽²⁾,

In October 1943 the plant (Norsk Hydro electrolytic) was completely destroyed in a heavy air raid. Nevertheless, about two tons of heavy water were available in Germany at the time: a quantity which, according to our calculations (Eq. (12)), was just enough for the construction of an energy-producing pile. A branch of the Reichsforschungsrat at Stadtilm was allotted the remaining quantity of heavy water and a great part of the available uranium. The materials available at Haigerloch, however, was single insufficient to attain $Z=\infty$. A relatively small amount of uranium would in all probability have sufficed; but it was no longer possible to obtain it, since transport from Berlin or Stadtilm could no longer reach Hechingen.

Heisenberg's insistence is considered as follows: the German researchers did not admit that their chain reaction ended in failure, because they could procure the least necessary amount of the materials to achieve a chain reaction. However, they could not in fact produce a chain reaction, owing to disturbance of their research by a heavy air raid which destroyed completely the domestic transportation network.

The Heisenberg's forecast above is however physically doubtful. Especially, the assumption of ($\gamma=\text{constant}$) in Eq. (8) would be correct in physics?. Since it is physically correct that neutron density and current of a core and the ones of a reflector should have continuity at the boundary: $r=R$ between the both sides, the following equation for γ is exactly derived from the above boundary condition to be physically appreciated, as in detail explained in Appendix B,

$$\gamma = \frac{1}{BR} \left(\frac{D_r}{D_c} (1 + \kappa_r R \coth(\kappa_r T)) - 1 \right) \quad (13)$$

where, T is the thickness of a reflector, D_c and D_r are diffusion coefficient of a core and a reflector respectively, and κ_r is the reciprocal of the reflector diffusion length. Therefore γ is clearly dependent on the specification and the nuclear properties of the given core and reflector, and can be not applied freely to another case as the constant value. Furthermore, combining Eq. (13) and Eq. (10),

$$BR \cot(BR) = 1 - \frac{D_r}{D_c} (1 + \kappa_r R \coth(\kappa_r T)) \quad (14)$$

is obtained. The above equation is a critical equation of a spherical reactor with reflector given by M. F. Perrin⁽²¹⁾, and also described in the elementary reactor theory⁽¹⁰⁾. The German researchers of those days should have sufficiently considered that the thickness of a reflector remarkably affects criticality of a chain reacting system, since Perrin already pointed out that the fast neutron critical mass of 40 ton without reflector could be reduced to 12 ton by using a pure neutron scattered material of Fe with the thickness of 35 cm as the reflector⁽²¹⁾.

Eq. (8) given by Heisenberg is very 'grobe' approximate as said by himself. According to Heisenberg's report of December 6 in 1939⁽²²⁾, he considered that a reflector (an outside of

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

core) thickness is infinite and diffusion coefficients of the core and reflector are always equal. Applying this approximations: $T \rightarrow \infty$ and $D_r = D_c$ to Eq.(13), the following equation is given for γ ,

$$\gamma = \frac{\kappa_r}{B} = \text{constant} \quad (15)$$

Since the actual Haigerloch device had a finite thickness of the reflector and different nuclear properties in the both regions, Eq.(13) should be adopted in the forecasting calculation from this experimental results, instead of ($\gamma=\text{constant}$). Since the detail of the more correct forecasting calculation is shown in Appendix B, only this brief reference is expressed here. Then, substituting Eq. (13) to Eq. (9), the following equation is given as

$$\cos(BR) + \frac{\Delta - 1}{BR} \sin(BR) = \frac{\Delta}{Z} \quad (16)$$

where, Δ is

$$\Delta = \frac{D_r}{D_c} (1 + \kappa_r R \coth(\kappa_r T)) \quad (17)$$

Although the neutron-physical information for graphite which had been used in the Haigerloch reflector is very little known, since the material is a single composition and does not consist of any component, this physical specification is considered to be easier estimated than the diffusion coefficient: D_c of the core consisting of two components: natural U and heavy water. Then, only D_c value can be here estimated from the Haigerloch experimental results by using Eqs.(16) and (17). Giving here the 3 cases of nuclear data set: D_r and κ_r as the graphite which might be used for Haigerloch reflector and using Haigerloch experimental results: 'Diffusionslänge' $(1/B)=36.3$ cm, $Z=6.7$, $R=71$ cm and $T=50$ cm, D_c values are derived from the above-mentioned procedure. Finally, from the critical equation: Eq. (14) with $(1/B)=36.3$ cm, D_c , D_r and κ_r as the input data, a critical radius: R_k can be calculated as the function of a graphite reflector thickness: T . Thus, some results are given in Table 7.

Table 7: Forecasted Criticality from Haigerloch Experimental Results

R_k [cm]	T [cm]	natural U [ton]	heavy water [ton]	graphite [ton]
84.5	42	2.55	2.62	10.1
82.5	50	2.37	2.44	12.6

It can be from comparison with Eq. (12) understood that the Heisenberg's forecasting method ($\gamma=\text{constant}$) from the Haigerloch result is optimistic for criticality estimation, and disregarded an important effect of a reflector to the critical mass. This optimistic result is owing to the Heisenberg's concept for the reflector effect: 'a reflector (an outside of core) thickness is always infinite and diffusion coefficients of the core and reflector are always equal'.

4 Why did Germany not Succeed in Chain Reaction ?

Many believe that German researchers failed to produce a chain reaction because they could not estimate correctly minimum least necessary amount of materials to do so. Why did they not adopt the Perrin's calculating method that had already been made public in France, which was equivalent to the American elementary reactor theory ? Why did they adhere to Heisenberg-Wirtz's method developed by themselves ? Because of their peculiar method, they could not derive the concept of optimization and procure the least necessary materials. Perhaps, this is why German failed. In Japan, the Perrin's calculating method was used in the estimation of 'Ni Go study' operated by the Riken, and the concept of optimization was also adopted. S. Weart has published⁽²³⁾ a survey of on the world-wide history of R&D for chain reaction, and pointed out that F. G. Houtermanns had in August 1941 almost derived a complete equation of the four-factor formula which is equal to Eq. (A24) of Appendix A. He suggested Houtermanns' result did not sufficiently contributed to the German R&D, because he did not join the Heisenberg's research group. Furthermore, with regard to the forecasting from the Haigerloch result, they disregarded Perrin's finding about the effect of reflector⁽²¹⁾, and adopted the 'grobe' approximation of (γ =constant). For such facts that the German researchers had repeatedly disregarded the Perrin's method, Weart has also described as follows,

In the mid-1940 the capture of Paris allowed the Germans to analyze the French experimental procedures, although they never learned the theoretical tools the French had developed to analyze them.

and furthermore quoted the following words of two members of the German researchers: E. Bagge and K. Diebner after the War,

While this theory (Heisenberg-Wirtz's method) is to a certain extent outstripped by another type of formulation (American elementary reactor theory) made by American physicists, it nevertheless remains correct in its essential points, and even today it would in principle suffice for calculation of a uranium reactor.

From the problems to be discussed here, Weart's impression mentioned above, and the over-confidence of two members of the German team, one may suggest that they had a strong sense of superiority to other nations and consequently believed they alone can conduct their experiments. Therefore, the author thinks that one strong reason for the German failure in chain reaction related to this strong superiority complex of German scientists.

Appendix A:

The Relation between Perrin's Equation and Elementary Reactor Theory

M. F. Perrin described that a possibility for a neutron chain reaction by the uranium fission had been soon discussed⁽²¹⁾ after the fission had been discovered. First, Perrin proposed a critical calculating method of so-called 'one group diffusion theory' which can be applied mainly to a fast neutron chain reaction, namely, neutron energy generated by the fission is assumed to be the same as the thermal energy that the fission occurs. At the same time, many researchers; S. Flügge⁽²⁴⁾, M. F. Adler⁽²⁵⁾, and R. Peierls⁽²⁶⁾ described a physical concept of a neutron chain reaction and proposed a critical calculating method under the same assumption 'one group diffusion theory'. In May 1939, M. M. H. Halban, L. Kowarski, P. Savitch⁽²⁷⁾ first obtained a experimental value of ^{238}U resonance neutron absorption during a slowing down to thermal energy that the fission occurs from generated fast neutron energy by the fission. By their experimental result; p of the ^{238}U resonance escape probability, the theorist Perrin could derive a well understandable critical equation of so-called 'two group diffusion theory'⁽¹¹⁾. Here, the theoretical skeleton of Perrin's proposed critical equation for homogeneous chain reacting system is presented to be equivalent to the one described in the elementary reactor theory⁽¹⁰⁾.

Perrin shows a set of the equations in critical condition for fast neutron density: n_{ft} and thermal one: n_{th} . Since averaged neutron velocities for fast and thermal neutrons are v_{ft} and v_{th} respectively, each neutron fluxes are expressed by Φ_{ft} and Φ_{th} as follows,

$$\Phi_{ft} = n_{ft} v_{ft} \quad \Phi_{th} = n_{th} v_{th} \quad (\text{A1})$$

Accordingly, the original Perrin's critical equations can be rearranged by Equation (A1) to the following neutron balanced critical equations for two energy groups,

$$D_{ft} \nabla^2 \Phi_{ft} + C_1 \Phi_{ft} + C_2 \Phi_{th} = 0 \quad (\text{A2})$$

$$D_{th} \nabla^2 \Phi_{th} + C_3 \Phi_{ft} - C_4 \Phi_{th} = 0 \quad (\text{A3})$$

where, diffusion coefficients: D_{ft} and D_{th} are shown by each averaged mean free paths: λ_{ft} and λ_{th} respectively as follows,

$$D_{ft} = \frac{\lambda_{ft}}{3} \quad D_{th} = \frac{\lambda_{th}}{3} \quad (\text{A4})$$

and, since Perrin also considers the system that is a homogeneously mixed up medium of moderator and uranium, the coefficients: C_1, C_2, C_3, C_4 in Eqs. (A2) and (A3) are derived from Eq. (A1) and Eq. (A4) as follows,

$$C_1 = \left((\nu^{ft} - 1) N_U \sigma_{aU}^{ft} - \sum_i N_i \sigma_{ai}^{ft} \right) - N_H \sigma_{SD} \quad (\text{A5})$$

$$C_2 = \nu^{th} N_U \sigma_{aU}^{th} \quad (\text{A6})$$

$$C_3 = p N_H \sigma_{SD} \quad (\text{A7})$$

$$C_4 = N_U \sigma_{aU}^{th} + N_H \sigma_{aH}^{th} + \sum_i N_i \sigma_{ai}^{th} \quad (\text{A8})$$

where, ν : an average emitted neutron number by a fission of uranium, N : a nucleus number per a unit volume, σ : a neutron reaction cross section (unit: barn), and 'ft' and 'th' of an upper suffix show fast and thermal neutron energy respectively. With regard to a lower suffix of N and σ , U: uranium, H: moderator, i: nuclei except for U and H, a: neutron absorption, SD: slowing down. 'sum_iN_iσ_i' shows the summation of neutron reaction rate of nuclei except for U and H, and p is the resonance escape probability of ^{238}U which is obtained by an experiment.

From Eq. (A2) and Eq. (A3), an expression only for Φ_{ft} is derived by canceling Φ_{th} , and, by the same mathematical procedure, the one only for Φ_{th} is derived. Then, the two equations have quite same form with the same 4 coefficients: C_1, C_2, C_3, C_4 . Accordingly, since the spatial distribution (not absolute value) for Φ_{ft} and Φ_{th} is quite same, an eigenvalue for either Φ_{ft} or Φ_{th} becomes same when Eq. (A2) and Eq. (A3) are solved, i.e.,

$$\nabla\Phi_{ft} + B^2\Phi_{ft} = 0 \quad \nabla\Phi_{th} + B^2\Phi_{th} = 0 \quad (\text{A9})$$

where, B is the eigenvalue, and is called as the 'buckling' in the elementary reactor theory.

Then, a total neutron absorption rate: Σ_a in the whole system can be expressed by

$$\Sigma_a^{ft} = \text{sum}_j N_j \sigma_{aj}^{ft} \quad \Sigma_a^{th} = \text{sum}_j N_j \sigma_{aj}^{th} \quad (\text{A10})$$

where, the summation of neutron reaction rate: 'sum_j' with the suffix 'j' in the above equation is carried out for all nuclei including U and H. Therefore, by use of Eq. (A10), C_1 and C_4 can be changed to the following expressions,

$$C_1 = - \left(N_H \sigma_{SD} - \left(\nu^{ft} N_U \sigma_{aU}^{ft} - \Sigma_a^{ft} \right) \right) \quad (\text{A11})$$

$$C_4 = \Sigma_a^{th} \quad (\text{A12})$$

Next, the fast fission effect: ϵ is derived as follows. Since a number of fast neutron generation by fast neutron fission is $\nu^{ft} N_U \sigma_{aU}^{ft}$, the net fast neutron number in unit volume of the system is reduced to $(\nu^{ft} N_U \sigma_{aU}^{ft} - \Sigma_a^{ft})$ due to fast neutron absorption effects of all nuclei including U and H. The net fast neutrons suffer slowing down by moderator: $N_H \sigma_{SD}$, and they lost high energy and the fast fission effect. Therefore, a rate of increased fast neutrons before the suffering slowing down by moderator: Δ is expressed as follows,

$$\Delta = \frac{\left(\nu^{ft} N_U \sigma_{aU}^{ft} - \Sigma_a^{ft} \right)}{N_H \sigma_{SD}} \quad (\text{A13})$$

It is noted that $\Delta \ll 1$. Then a fast neutron cycle occurs in the fast neutron energy group by a factor of Δ , and the increasing rate: ϵ of fast neutrons in the energy group is considered to be

$$\epsilon = 1 + \Delta + \Delta^2 + \Delta^3 + \Delta^4 + \dots \quad (\text{A14})$$

This effect adds to the whole neutron cycle in the chain reacting system. Since the fast neutron velocity is 8×10^9 cm/s (an averaged fission neutron energy: 2 MeV), a typical fast neutron cycle time is about 10^{-8} sec. While the thermal neutron velocity is 2.2×10^4 cm/s, and a typical neutron cycle time of thermal reactors is about 10^{-4} sec, then the fast neutron

cycle occurs about 10^4 times the whole neutron cycle. Therefore, Eq. (A14) is considered to be an infinite series, i.e.,

$$\epsilon = \frac{1}{1 - \Delta} \quad (\text{A15})$$

Then, Eq. (A11) becomes as follows,

$$\begin{aligned} C_1 &= -N_H \sigma_{SD} \left(1 - \frac{\nu^{ft} N_U \sigma_{aU}^{ft} - \Sigma_a^{ft}}{N_H \sigma_{SD}} \right) \\ &= -N_H \sigma_{SD} (1 - \Delta) \\ &= \frac{-N_H \sigma_{SD}}{\epsilon} \end{aligned} \quad (\text{A16})$$

It should be noted that ϵ of Eq.(A15) may be slightly different from a definition of the elementary reactor theory.

Since the coefficients: C_1, C_2, C_3, C_4 in Eqs. (A2) and (A3) are then Eqs. (A16), (A6), (A7) and (A12) respectively, renewed neutron balanced critical equations are derived as follows,

$$D_{ft} \nabla \Phi_{ft} - \left(\frac{N_H \sigma_{SD}}{\epsilon} \right) \Phi_{ft} + \nu^{th} N_U \sigma_{aU}^{th} \Phi_{th} = 0 \quad (\text{A17})$$

$$D_{th} \nabla \Phi_{th} + p N_H \sigma_{SD} \Phi_{ft} - \Sigma_a^{th} \Phi_{th} = 0 \quad (\text{A18})$$

Dividing Eq. (A17) by $(N_H \sigma_{SD}/\epsilon)$ and Eq. (A18) by Σ_a^{th} and introducing the following constants by the definition of the elementary reactor theory,

$$\tau = \frac{D_{ft}}{N_H \sigma_{SD}} \quad (\text{A19})$$

$$L^2 = \frac{D_{th}}{\Sigma_a^{th}} \quad (\text{A20})$$

Eq. (A17) and (A18) are written as follows,

$$\epsilon \tau \nabla \Phi_{ft} - \Phi_{ft} = - \left(\frac{\nu^{th} N_U \sigma_{aU}^{th}}{N_H \sigma_{SD}} \right) \Phi_{th} \quad (\text{A21})$$

$$L^2 \nabla \Phi_{th} - \Phi_{th} = - \left(\frac{p N_H \sigma_{SD}}{\Sigma_a^{th}} \right) \Phi_{ft} \quad (\text{A22})$$

Multiplying Eq. (A21) by Eq. (A22), and applying its product to the following equation of ηf and k_{∞} in the elementary reactor theory,

$$\eta f = \frac{\nu^{th} N_U \sigma_{aU}^{th}}{\Sigma_a^{th}} \quad (\text{A23})$$

$$k_{\infty} = \epsilon p \eta f \quad (\text{A24})$$

the following resultant equation is obtained,

$$\epsilon \tau L^2 \nabla \Phi_{ft} \nabla \Phi_{th} - \epsilon \tau \Phi_{th} \nabla \Phi_{ft} - L^2 \Phi_{ft} \nabla \Phi_{th} + \Phi_{ft} \Phi_{th} = k_{\infty} \Phi_{ft} \Phi_{th}$$

Dividing the both side of the above equation by $\Phi_{ft}\Phi_{th}$, since $\Phi_{ft}\Phi_{th} \neq 0$

$$\epsilon\tau L^2 \frac{\nabla\Phi_{ft}}{\Phi_{ft}} \frac{\nabla\Phi_{th}}{\Phi_{th}} - \epsilon\tau \frac{\nabla\Phi_{ft}}{\Phi_{ft}} - L^2 \frac{\nabla\Phi_{th}}{\Phi_{th}} + 1 = k_{\infty}$$

is obtained. Since the following relations are then derived from Eq. (A9),

$$\frac{\nabla\Phi_{ft}}{\Phi_{ft}} = \frac{\nabla\Phi_{th}}{\Phi_{th}} = -B^2 \quad (A25)$$

using Eq. (A25) to the above equation, one gets an equation:

$$\epsilon\tau L^2 B^4 + (\epsilon\tau + L^2)B^2 = k_{\infty} - 1$$

Here, with regard to fast neutron leakage from the chain reacting system, $\epsilon\tau \simeq \tau$ is used to be approximated. Since a total effect of leakage form the chain reacting system does not only contain the one of fast neutron but also the one of thermal neutron, the approximation is quite reasonable for estimation of the criticality. Accordingly, the above equation becomes,

$$\tau L^2 B^4 + (\tau + L^2)B^2 = k_{\infty} - 1 \quad (A26)$$

Since the migration area: M^2 in the elementary reactor theory is given as

$$M^2 = L^2 + \tau \quad (A27)$$

Eq. (A26) is rearranged to

$$\tau L^2 B^4 + M^2 B^2 = k_{\infty} - 1 \quad (A28)$$

For a large chain reacting system, the first term of the above equation can be neglected, since B^4 becomes extremely small. Therefore, Eq. (A28) becomes a simple form of $M^2 B^2 = k_{\infty} - 1$. Then, considering Eq. (A25) again, the thermal neutron flux: Φ_{th} for the large system can be calculated by the following equation,

$$\nabla\Phi_{th} + B^2\Phi_{th} = 0 \quad (A29)$$

where,

$$B^2 = \frac{k_{\infty} - 1}{M^2} \quad (A30)$$

Heisenberg had used Eq. (A29) as the critical equation: Eq. (B1) in Appendix B. However, he had not known that this equation can be derived from Perrin's paper.

The approximation for the neglected first term of Eq. (A28) may be reasonable, if the radius of spherical chain reacting system is far over the following value, 2.00~4.70 cm for the case of a light water moderated system, 34.4~35.7 cm for a heavy water system, and 34.2~51.8 cm for a graphite system.

Since only the light water moderated chain reacting system was considered when Perrin's paper had been published⁽¹¹⁾, the neutron balanced critical equation; Eq. (A2) and (A3) for two energy groups had been solved by an approximation of $D_{th} \nabla \Phi_{th} = 0$. Although this approximation is of course physically reasonable for case of the light water moderated system, such the method must not be applicable for any kind of moderator. However, as proved here,

the applicable calculating method can be derived from the original Perrin's paper, which is considered far exactly to include almost conceptions of physical phenomena for a chain reaction. The theoretical skeleton of the elementary reactor theory developed by Fermi's group can be then considered to have been created by Perrin, but his paper is not quoted in 'other references' of the Fermi-Szilard's patent, in spite that S. Flügge's paper has been quoted⁽⁸⁾. Fermi might have not understood what Perrin's paper had anticipated.

Appendix B:

Heisenberg's Forecasting Method for Critical Mass

German researchers always used the calculating method⁽¹⁹⁾ which was developed by Heisenberg's group for estimation of their research results. In this appendix, an improved method for forecasting of a critical mass from the Haigerloch subcritical experiment is offered, since Heisenberg's forecasting method has the 'grobe' approximation described by himself, which is shown in Eq. (8) of the text.

A spherical system having a neutron source: Q at the center of a core with the radius: R and a reflector with the thickness of T is generally considered under the following conditions,

- (I) Since the Haigerloch device was actually cylindrical with same dimension of the diameter and the height, the experiment should be considered to be sphericalized. Then, the sphericalized core has a radius of 71 cm, which can be perfectly surrounded with the graphite reflector of the thickness of 50 cm due to the total weight of 10 ton.
- (II) A neutron behavior in the core is calculated by the diffusion theory. In Heisenberg-Wirtz's report⁽³⁾, the following 'Diffusionsgleichung (7)' is expressed as a basic equation,

$$\nabla n_c + B^2 n_c = 0 \quad (B1)$$

where, n_c is a neutron density per a unit volume of the core, B is the buckling, a reciprocal of which is called 'Diffusionslänge' by Heisenberg. For the sphericalized system, Eq. (B1) is expressed in the following form as r is radial coordinates,

$$\frac{d^2}{dr^2}(n_c r) + B^2(n_c r) = 0 \quad (B2)$$

- (III) A neutron behavior in the reflector is also calculated by the diffusion theory. A neutron density: n_r in the reflector is derived from the boundary condition of $n_r = 0$ at $r = R + T$ as follows,

$$n_r r = E \sinh(\kappa_r(R + T - r)) \quad (B3)$$

where, κ_r is a reciprocal of the diffusion length of the reflector and E is an arbitrary constant.

A general solution of Eq. (B2) with arbitrary constants of C and α is derived as follows,

$$n_c r = C (\alpha \sin(Br) + \cos(Br)) \quad (B4)$$

A physically reasonable boundary condition is the continuation of the neutron density and current at the boundary between the core and the reflector: $r=R$, i.e.,

$$n_c = n_r \quad D_c \left(\frac{dn_c}{dr} \right) = D_r \left(\frac{dn_r}{dr} \right) \quad (\text{B5})$$

where, D_c and D_r is the diffusion coefficient of the core and the reflector respectively. Substituting Eqs. (B3) and (B4) into Eq. (B5) and algebraically arranging this equation, the constant α is derived as,

$$\alpha = \frac{\sin(BR) - \gamma \cos(BR)}{\cos(BR) + \gamma \sin(BR)} \quad (\text{B6})$$

where, an equation of γ is given as follows,

$$\gamma = \frac{1}{BR} \left(\frac{D_r}{D_c} (1 + \kappa_r R \coth(\kappa_r T)) - 1 \right) \quad (\text{B7})$$

Since, instead of Eq. (B5), the quite same form of α -equation as Eq. (B6) is derived from substituting Eq. (B4) into Eq. (8) of the text, γ of Eq. (B7) is quite equivalent to the physically approximate concept of Heisenberg's forecasting method. Namely, γ of Eq. (B7) can be considered to improve the 'grobe' approximation of (γ =constant).

Since a neutron source with strength Q is located at the center of the core, the arbitrary constant C in Eq. (B4) is derived as follows,

$$Q = 4\pi \text{Lim } r^2 J_c|_{r \rightarrow 0} \quad J_c = -D_c \frac{dn_c}{dr} \quad (\text{B8})$$

After some algebraic procedures, $A = Q/4\pi D_c$ is given. Thus, the final equation of $n_c r$ is

$$r n_c = \frac{Q (\alpha \sin(Br) + \cos(Br))}{4\pi D_c} \quad (\text{B9})$$

It should be noted that 'n' in the denominator of the right side of the equation 'n(r)' described in the Heisenberg-Wirtz's report is a misprint of 'r'. Next, since a neutron leakage: $\langle J \rangle$ from the core to the reflector is similarly derived as $\langle J \rangle = 4\pi \text{Lim } r^2 J_c|_{r \rightarrow R}$, using a definition of $Z = \langle J \rangle / Q$ and Eq. (B9), the measuring 'Vermehrungsfaktor' Z value described in the report becomes

$$Z = \frac{1 + \gamma BR}{\cos(BR) + \gamma \sin(BR)} \quad (\text{B10})$$

Heisenberg had proposed the following critical equation from Eq. (B10) at $Z \rightarrow \infty$,

$$\cot(BR) = -\gamma \quad (\text{B11})$$

Furthermore, combining Eq. (B7) with Eq. (B11), a critical equation for a sphere reacting system with reflector is derived as follows,

$$BR \cot(BR) + \frac{D_r}{D_c} (1 + \kappa_r R \coth(\kappa_r T)) = 1 \quad (\text{B12})$$

The above equation was published in Perrin's paper⁽²¹⁾ or the elementary reactor theory⁽¹⁰⁾.

The above-mentioned equations: Eq. (B6) of α , Eq. (B9) of rn_c and Eq. (B10) of Z have

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

the quite same form as described in Heisenberg-Wirtz's report⁽³⁾, except for Eq. (B7) of γ .

Another paper by Heisenberg⁽²²⁾ described in December 6, 1939 shows that a neutron density: n_r in the reflector is as follows,

$$n_r r = E \exp(-\kappa_r r) \quad (\text{B13})$$

- (a) the above equation is clearly derived from an approximation of $(R+T) \rightarrow \infty$ in the condition equation (III): Eq. (B3). By using the above equation, a value of γ is similarly derived as follows,

$$\gamma = \frac{1}{BR} \left(\frac{D_r}{D_c} (1 + \kappa_r R) - 1 \right) \quad (\text{B14})$$

It is clear that Eq. (B14) is the case: $\kappa_r T \rightarrow \infty$ of Eq. (B7).

- (b) If $\kappa_r r \ll 1$ in the whole range of r , the following equation is derived from Eq. (B13),

$$n_r r = E \quad (\text{B15})$$

which is the Heisenberg's responded equation of the neutron density in the reflector to O. Hahn's question at Farm Hall⁽²⁸⁾. By using the Eq. (B15), a value of γ is similarly derived as follows,

$$\gamma = \frac{1}{BR} \left(\frac{D_r}{D_c} - 1 \right) \quad (\text{B16})$$

- (c) Since, in the Heisenberg's paper of December 6, 1939, Heisenberg had on the one hand discussed only on the case of $D_r = D_c$, applying this concept to Eq. (B14),

$$\gamma = \frac{\kappa_r}{B} = \text{constant} \quad (\text{B17})$$

is given. It should be noted that Eq. (8) of the text can be proven only in the approximations of (a) and (c).

Since all equations of γ : Eqs. (B7), (B14) and (B16), except for the Eq. (B17), are the function of R , it is generally unreasonable that a critical core radius of a next device can be considered to be forecasted from the condition of $\gamma = \text{constant}$. The fact that Heisenberg had given Eq. (B17) is considered to mean that he had disregarded an important effect of the reflector to a critical mass.

Only the following experimental results are given from the subcritical Haigerloch device,

$$\begin{aligned} \text{core radius: } R &= 71 \text{ cm} \\ Z &= 6.7 \\ \text{'Diffusionslänge'} &= \frac{1}{B} : \text{'etwa'} 35 \text{ cm} \end{aligned} \quad (\text{B18})$$

A calculation of the condition case of $\gamma = \text{constant}$ is first shown. Using the values of $R=71$ cm, $Z=6.7$, and $1/B=35$ cm to Eq. (B10), $\gamma=0.995$ is given. However, since Heisenberg gave $\gamma=0.824$, making allowance for experimental uncertainty of 'Diffusionslänge' because of

'etwa', a value of the 'Diffusionslänge': 36.3 cm is derived from Eq. (B10) and $\gamma=0.824$. Then, the following two cases are adopted for the coming discussions,

$$\begin{aligned} \text{(I) 'Diffusionslänge' } 36.3 \text{ cm : } \gamma &= 0.824 \\ \text{(II) 'Diffusionslänge' } 35.0 \text{ cm : } \gamma &= 0.995 \end{aligned} \quad (\text{B19})$$

Using Eq. (B19) as the input to critical Eq. (B11), the critical radii: R_k are 82.4 cm and 82.1 cm for the cases of (I) and (II) respectively. Therefore, since $(82/71)^3=1.54$, the Heisenberg's forecasting critical masses are derived as follows,

$$\text{natural U : 2.30 ton} \quad \text{heavy water : 2.37 ton} \quad (\text{B20})$$

It is clear that the 'grobe' approximation in Heisenberg's forecasting calculation can be improved by use of Eq. (B7) instead of ($\gamma=\text{constant}$). Substituting Eq. (B7) to Eq. (B10), the following equation is given as

$$\cos(BR) + \frac{\Delta - 1}{BR} \sin(BR) = \frac{\Delta}{Z} \quad (\text{B21})$$

where, Δ is

$$\Delta = \frac{D_r}{D_c} (1 + \kappa_r R \coth(\kappa_r T)) \quad (\text{B22})$$

Although the neutron-physical information for graphite which was used in the Haigerloch reflector is very little known, since the material is a single composition and does not consist of any components, this physical specification is considered to be easier estimated than the diffusion coefficient: D_c of the core consisting of two components: natural U and heavy water. Then, only D_c value can be here estimated from the Haigerloch experimental results by using Eqs. (B21) and (B22). Since the experimental informations from the subcritical Haigerloch device with the graphite reflector thickness of 50 cm are given in Eq. (B18), several physical specifications for graphite which is speculated to have been used in the Haigerloch reflector are here estimated and adopted, and the physical specifications are diffusion coefficient: D_r and diffusion length: l_r or its inverse: κ_r . Nuclear data set: D_r and l_r from the following 3 sources are concretely adopted,

- (1) Heisenberg - Wirtz, (2) Glasstone et al, (3) present data,

and the following relation between nuclear data should be noted,

$$l_r^2 = \frac{D_r}{\Sigma_{ar}} \quad (\text{B23})$$

where, Σ_{ar} is the macroscopic adsorption cross section of graphite, density of which is 1.7 g/cc.

For (3) present data, the values are calculated by using the so-called BNL cross section⁽³¹⁾: $\sigma_a=3.53\pm 0.07$ mb, and $\sigma_s=4.746\pm 0.002$ b and the general relation: $D_r=\frac{1}{3\Sigma_{tr}}$ and $\Sigma_{tr}=\Sigma_s(1 - \frac{2}{3A})$, where A is the mass number of graphite. For (2) Glasstone et al, $\Sigma_{ar}=3.81 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$ and $D_r=0.86$, because of $\sigma_a=4.5$ mb and $\sigma_s=4.8$ b which are shown by Glasstone⁽⁹⁾, Stephens and Hughes⁽²⁹⁾, and Murray⁽³⁰⁾. For (1) Heisenberg-Wirtz, $D_r=0.86$ of the same value as

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

(2) Glasstone et al and $\Sigma_{ar}=5.46 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$, because only the value of σ_a is presented in Heisenberg-Wirtz's report⁽³⁾. Arranging the above discussions, the next table is presented, where all the values are satisfied with the relation of the Eq. (B23).

Table B1 Adopted nuclear data set of graphite

	l_r cm	Σ_{ar} cm^{-1}	D_r cm
(1) Heisenberg-Wirtz	40	5.46×10^{-4}	0.86
(2) Glasstone et al	47.6	3.81×10^{-4}	0.86
(3) present data	53.8	3.01×10^{-4}	0.87

After the core diffusion coefficient: D_c is derived from using Haigerloch results and the values shown in Table B1 to Eqs. (B21) and (B22), a critical radius: R_k can be calculated by the critical equation of Eq. (B12). The calculated results for the case of the reflector thickness of 42 cm are presented in Tables B2 and B3, where the reflector thickness becomes just thinner than that of Haigerloch device under an assumption of the same weight of the graphite to be used, because R_k is larger than Haigerloch one.

Table B2 (I) 'Diffusionslänge' 36.3 cm: $\Delta=2.617$

	R_k cm	γ	D_c cm	natural U [ton]	heavy water [ton]	graphite [ton]
(1) Heisenberg-Wirtz	84.0	0.827	1.02	2.50	2.58	10.0
(2) Glasstone et al	84.5	0.827	0.96	2.55	2.62	10.1
(3) present data	84.5	0.827	0.94	2.55	2.62	10.1

Table B3 (II) 'Diffusionslänge' 35.0 cm: $\Delta=3.018$

	R_k cm	γ	D_c cm	natural U [ton]	heavy water [ton]	graphite [ton]
(1) Heisenberg-Wirtz	84.0	0.995	0.89	2.50	2.58	10.0
(2) Glasstone et al	84.5	0.995	0.83	2.55	2.62	10.1
(3) present data	84.5	0.995	0.81	2.55	2.62	10.1

The values of D_c in the Tables B2 and B3 are also considered to be quite reasonable, because single diffusion coefficients of natural U and heavy water, which are the components of the core, are 0.86 by Murray⁽³⁰⁾ and 0.80 by Glasstone-Edlund⁽¹⁰⁾, respectively. It is clear from almost all cases shown by the Tables B2 and B3 that R_k is 84.5 cm and not nearly depend on the nuclear data of the graphite reflector. The critical masses are more than Heisenberg's forecasting in Eq. (B20) from the condition of $\gamma=\text{constant}$ as follows,

$$\text{natural U : 2.55 tons} \quad \text{heavy water : 2.62 tons} \quad (\text{B24})$$

In the case of the reflector thickness: 50 cm (about 13 ton), the critical masses are natural U: 2.37 ton and heavy water: 2.44 tons. If the graphite amount to be used is over 50 ton,

these masses might become about 2 ton.

Acknowledgments

The author is grateful to M. Yamazaki of Tokyo Institute of Technology and M. Walker of Union College for helpful remarks and discussions, and to Y. Matsuno for introducing many German reactor physicists. In addition, the author wishes to express his deep appreciation to M. Kühle, G. Kessler, F. Putz and W. Marth for many suggestions and useful information.

Reference and Notes

- (1) M. Walker, "The German Decision for Heavy Water," in Mark Walker, "Heisenberg, Goudsmit and the German Atomic Bomb," *Physics Today*, **43**(Jan. 1990): 52-60, on 54.
- (2) W. Heisenberg, "Research in Germany on the Technical Application of Atomic Energy," *nature*, **4059**(Aug. 16, 1947): 211.
- (3) Stadtverwaltung Haigerloch, *ATOM Museum Haigerloch*, 1990; W. Heisenberg, K. Wirtz, "Grossversuche zur Vorbeereitung der Konstruktion eines Uranbrenners," Walther Bothe and Siegfried Flüge, eds. *Naturforschung und Medizin in Deutschland 1939-1946*, Band 14, *Kernphysik und Kosmische Strahlen*, Teil II(1948): 43.
- (4) Y. Fukai, "Who Mainly contributed to the Success of Chicago Pile No.1 ?," *The Japanese Journal for the History of Science and Technology*, **6**(Dec. 2002): 1. (in Japanese)
- (5) H. D. Smyth, "Atomic Energy for Military Purposes," *Rev. of Modern Phys*, **17**(Oct. 1945): 351-471, on 351.
- (6) The neutron balance equation with a neutron source is

$$(\text{Production}) + (\text{Source}) = (\text{Absorption}) + (\text{Leakage}).$$

According to the definition of the measured Z ,

$$Z = \frac{\text{Leakage}}{\text{Source}}.$$

Substituting the above 2 equations to the defined k_{eff} : Eq. (2) in the text, the following equation is obtained,

$$k_{\text{eff}} = \frac{k_{\infty} \left(1 - \left(\frac{1}{Z}\right)\right)}{k_{\infty} - \left(\frac{1}{Z}\right)},$$

where, k_{∞} = Eq. (3). The values of k_{eff} shown in Table 1 are calculated by the above equation.

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

- (7) However, according to Weart's paper[ref. (23)], Halban and Kowarski escaped to Britain with heavy water of 180 kg that is nearly the total world stock in those days, after the German invasion of Paris in May 1940. And, in either Dec. 1940 or Jan. 1941, they found the k_{∞} value of the slightly greater than unity, at the facility of the Cambridge Laboratory. "Evidence for a potentially divergent nuclear chain reaction in a system, below the critical size, containing U and D", Report BR-4 of the British Maud Committee, The amount: 180 kg of the heavy water is nearly equivalent to the one of 150 liter to have used in the Leipzig device: L₄ in Sept. 1941. Then, as for achieving $k_{\infty} > 1$, Halban-Kowarski's experiment was earlier than the German L₄ device.
- (8) E. Fermi, L. Szilard, Neutronic Reactor, U.S. Patent Office, #2708656, patented May 17(1955).
- (9) S. Glasstone, *Principles of Nuclear Reactor Engineering*, D. Van Norstrand, 1955.
- (10) Many text books of the elementary nuclear reactor theory have been already published. As a typical example, the following book is referred to here: S. Glasstone, M. C. Edlund, *the Elements of Nuclear Reactor Theory*, D. Van Norstrand, 1952. the value of diffusion coefficient: p.127, table 5.91, the critical equation: chapter VII, p.191, the critical equation for a spherical reactor with reflector: p.236.
- (11) M. F. Perrin, *comptes rendus*, **208**(1939): 1573.
- (12) Y. Fukai, "Why Did Germany Not Succeed in Neutron Chain Reaction during World WarII ?," *The Japanese Journal for the History of Science and Technology*, **7**(Dec. 2004): 41. (in Japanese)
- (13) E. P. Wigner, "Nuclear Chain Reactions," C. Goodman ed., *Introduction to Pile Theory*, Addison-Wesley Press, 1947(2nd edition 1952): 99.
- (14) L. Szilard, "Divergent Chain Reactors in Systems Composed of Uranium and Carbon," Uranium Committee, Report A55, Feb. 1940 [MDDC-446(1940)].
- (15) O. Minakawa, H. Tamaki, "Fission of Heavy Nuclei by Bombardment of Neutrons (II)," *J. of Japanese Society of Mathematics and Physics*, **14**(1940): 106. (in Japanese)
Minakawa's physical explanation for the optimization(translated to English by the author):
..... The rate of thermalization to slowing down neutrons without suffering the resonance absorption is related with the averaged concentrations of H and U. Since there is a neutron absorption even at energy fairly far from the center of resonance absorption band, the resonance absorption increases as the concentration of H decreases. Its effect should be then considered when a possibility of a chain reaction in the mixture of H and U is discussed.The following phenomenon occurs when the concentration of H decreases. Namely, although more thermal neutrons are absorbed in U on the one hand, a resonance absorption increases on the other hand, and neutrons slowed down to thermal energy decrease. Among these factors which contribute each other in the opposite direction, the former is more important at the higher concentration of H, and the latter is same at the lower one. Accordingly, when the case of higher H concentration is first considered,

the rate of neutron production to total neutron absorption(note: k_{∞}) increases at first, reaches the maximal value, and afterwards decreases according to the decrease of the H concentration.

- (16) M. Takeuchi, "Shadow in Japanese Physics due to the World War II, Data 10-10, System in Japanese History of Science and Technology," *Japanese Society of Science History*, 16(1970): 446. (in Japanese)
- (17) M. Walker, *German National Socialism and the Quest for Nuclear Power 1939-1949*, Cambridge Univ. Press, 1989.
- (18) M. Kuchle, Private communications, 2005.
- (19) According to Persson's paper[ref. (20)] and Weart's paper[ref. (23)], the German domestic estimating method is expressed as follows,

$$k_{\infty} = 1 + \frac{(Q_r - Q)p}{Q_c}$$

where, Q is the strength of the neutron source, p is the resonance escape probability, Q_c is the total number of neutrons in the core, and Q_r is the leakage neutron from the core, i.e. the total number of neutrons in the reflector. Q_c and Q_r are obtained by measurement. Also this equation is here called as Heisenberg-Wirtz's estimation method.

- (20) R. Persson, *Nuclonics*, 12(Oct. 1954): 26. Persson's experimental results of k_{∞} which carried out under K. Wirtz's suggestion are shown as follows:

a [cm]	Differential Method	Integral Method
4.0		0.930±0.020
4.5		0.970±0.015
5.0	0.970±0.020	0.950±0.015
5.5	0.915±0.020	0.895±0.015
6.0	0.840-0.020	0.87±0.03
6.5	0.76±0.03	

where, 'Differential Method' and 'Integral Method' are Fermi's Exponential Method and Heisenberg-Wirtz's method, respectively, and the lattice has the natural-U rod of 3 cm and the space of 'a cm' between the U rods. Nobody would have doubts about that Heisenberg-Wirtz's method is physically correct from these results.

- (21) M. F. Perrin, *comptes rendus*, 208(1939): 1394. Perrin showed that the following studies had been published as a pioneered research, H. Halban, F. Joliot, L. Kowarshi, *nature*, 143(1939): 470; C. Haenny, A. Rosenberg, *comptes rendus*, 208(1939): 898; M. Dode, H. Halban, F. Joliot, and L. Kowarshi, *comptes rendus*, 208(1939): 995.
- (22) W. Heisenberg, "Die Möglichkeit der technischen Energiegewinnung aus der Uranspaltung," Dec. 6, 1939, W. Blum, H. P. Dürr, H. Rechenberg ed., *Gesammelte Werke/Collected Works*, Series A, Part II, 378-396.

Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction During World War II ?

- (23) S. Weart, "Secrecy, Simultaneous Discovery, and Theory of Nuclear Reactor," *American J. of Phys.*, **45**(1977): 1049.
- (24) S. Flügge, *Die Naturwissenschaft*, **27**(1939): 402.
- (25) M. F. Adler, *comptes rendus*, **209**(1939): 301.
- (26) R. Peierls, *Camb. Phil. Soc. Proc.*, **35**(1939): 610.
- (27) M. M. H. Halban, L. Kowarski, P. Savitch, *comptes rendus*, **208**(1939): 1396.
- (28) "Farm Hall Report 5," Charles Frank ed., *Operation Epsilon: the Farm Hall Transcripts*, Institute of Physics Publishing, 1993, 131-132.
- (29) W. E. Stephens ed., *Nuclear Fission and Atomic Energy*, The Science Press, 1948; D. J. Hughes, *Pile Neutron Research*, Addison-Wesley Publishing, 1953.
- (30) R. L. Murray, *Introduction to Nuclear Engineering*, Prentice-Hall Inc., 1954.
- (31) S. F. Mughabghab, M. Divadeenam, N. F. Holden, *Neutron Resonance Parameters and Thermal Cross Section, Neutron Cross Section Vol. 1, Part A, Z=1-60*, Academic Press, 1981.

中国における日本の「植民地科学」(一) —範囲・時代・史料・問題意識—

Japanese Colonial Sciences in China (1) —Documents, Area, Age and Problemsetting—

梁波*
Lian Bo

1998年、東工大に留学した時、私は初めて「植民地科学」という言葉を知った。これより前、中国では「植民地科学」という言葉を聞いたことがなかった。また、神保町の「東方書店」で『満鉄中央試験所』¹という本を見つけたが、この「満鉄中央試験所」は、現在の「中国科学院大連化学物理研究所」²の前身であることがわかった。この研究所は、私の勤務先の「中国科学院瀋陽分院」に所属する一つの研究所である。それから、私は「植民地科学」の科学技術史に興味を持ち始めたわけである。

1. はじめに

技術と帝国主義に関連する問題については、すでに1939年、J・D・バナールが『科学の社会機能』のなかで触れている。この本の「科学と帝国の膨張」の節には、1885年になると「すでにイギリスは生産の独占を失い、生産国としての優越は急速に失われつつあった。ドイツとアメリカが恐るべき敵であった。帝国はイギリス工業を救済しようとして、むしろ消費財よりも、鉄道・機械のような生産財の輸出市場を開拓しようと努力した。これに伴って科学は急激に発達した。帝国の膨張に伴って提起される新たな問題を処理するために、国立大学や国立研究所が設立され、科学教育・科学研究についての精細な調査が広く行なわれた。」³と指摘している。

今までの資料を調べてみると、日本で初めて「植民地科学」という言葉を使った学者は、科学史家の広重徹と思われる。彼は、1974年に『科学の社会史』という本で「植民地科学」という言葉を初めて使っている⁴。広重は、「植民地科学」について、「植民地経営のための科学」と定義した上で、「それはまず自然誌的諸科学から始まること、そしてその調査は侵略政策に乗っているため現地住民との衝突、抵抗があること、組織の面では植民地は国家統制計画の実験場となったということだ」と指摘した。

しかし、日本では広重以前にも、「植民地科学」に関する研究はすでにあった。

* 東京工業大学客員研究員、中国科学院瀋陽分院

¹ 杉田望『満鉄中央試験所』徳間書店、1995年

² ホームページ：<http://www.dicp.ac.cn>

³ J・D・バナール(坂田昌一他訳)『科学の社会的機能』勁草書房、1981年、27頁

⁴ 広重徹『科学の社会史』中央公論社、1974年、144頁

1968年の『日本科学技術史大系・第七巻・国際』⁵には、「植民地科学」に関することが取り上げられている。その中の第五章「西洋の低開発国へのインパクト」には、西洋科学技術のインパクト、植民地教育、植民地における科学技術者の地位、科学と言葉、現地人の反応—中国など、五つの部分に分けての記述がある。

日本で「植民地科学」研究ブームが始まる前の1976年には、木本忠昭と加藤邦興が「‘チッソの技術’と植民主義」という論文を表している。彼らは、企業技術史の視点から朝鮮における日本の「植民地科学」問題に関心をもってきていた⁶。この論文の中では、生産力の要素に関連して、チッソの形成と企業技術の発展、日本軍国主義に奉仕する枠組みの中での企業の性格、当時の技術と労働者の状況などが分析されている。これは今までの「植民地科学」研究の中では重要な文献だと思われる。

1981年と1988年には、アメリカの技術史家D. R. ヘッドリックが、『帝国の手先—ヨーロッパ膨張と技術』と『進歩の触手—帝国主義時代の技術移転』という本を出版し⁷、技術とヨーロッパ帝国主義の形成と発展が互いに影響していたことを論じた。

さらに、科学史家のルイス・パイエンソンは、1982年から「植民地科学」に新しい視点から取り組んでいる。彼の「文化帝国主義と精密科学」と題された論文の中では、ドイツ、オランダ、フランスの物理学、地球物理学、天文学と文化帝国主義との関係が分析されている。パイエンソンは、帝国主義的膨張と科学との関連について、その多くは実用的関心から生まれるものと指摘している。たとえば、地域の間人関係を把握するために人類学者が送られ、現地の地勢や、地下資源を調査するために、地理学者・地質学者が派遣されたのである⁸。

日本では、前世紀80年代末期に欧米の研究が日本に紹介されて以後⁹、技術と帝国主義に関する研究が盛んになっている。このころ、「植民地科学」という言葉が広がって使われ始めている。例えば1993年、『科学史・科学哲学』には、「植民地科学」のコラムが掲載された¹⁰。この間に、植民地科学に関する専門著作も出版された¹¹。

ところで、筆者も日本の「植民地科学」研究について、中国の雑誌にレビュー

⁵ 日本科学史学会『日本科学技術史大系・第七巻・国際』第一法規出版社、1968年、167-176頁

⁶ 木本忠昭、加藤邦興「‘チッソの技術’と植民主義」『現代技術評論』第6期(1976年)

⁷ D. R. ヘッドリック『帝国の手先—ヨーロッパ膨張と技術』日本経済評論社、1989年；——『進歩の触手—帝国主義時代の技術移転』日本経済評論社、2005年

⁸ Lewis Pyenson, "Cultural Imperialism and Exact Sciences: German Expansion Overseas 1900-1930," *History of Science*, 20(1982): 1-43.

⁹ ルイス・パイエンソン(佐々木力訳)「科学と帝国主義」『思想』779号(1989年5月), 9-28頁

¹⁰ 『科学史・科学哲学』科学史・科学哲学刊行会、第11号(1993年)

¹¹ 佐伯修『上海自然科学研究所—科学者たちの戦争』東京宝島社、1995年

一を書いたことがある¹²。そのときには日本の「植民地科学」研究を地域によって、すなわち、中国における「植民地科学」研究、朝鮮における「植民地科学」研究、他の「植民地科学」研究（例えば、パラオ熱帯生物研究所）の三つに分けた。その中でみると、中国における「植民地科学」研究が一番多い。

日本では研究の全体のイメージはよく知られているので、ここでは詳細には紹介しないが、現在においても、このような研究が積極的に行われている事だけを指摘しておきたい。2005年7月に北京で開かれた第22回国際科学史大会では、「On Colonial Science」や「War and Science」などのシンポジウムが開かれ、最新の研究の動向が表れていた。

中国では「植民地科学」に関する研究はあまり多くなかった。しかし、類似の研究は、「帝国主義の文化侵略」の傘下で行なわれてきてはいる。こうした研究には、資料を掘り出してまとめたもの他に¹³、李茂傑による「日本帝国主義の科学技術侵略」というような研究も取り上げることができるが¹⁴、全体としては多くはない。史的な研究としては、中国科学院自然科学史研究所の董光璧編集の『中国近現代科学技術史』¹⁵の第7篇に、「中国における日本の殖民科学機関」というものがある。これは中国科学技術史通史類の著作としては、初めて植民地時期の科学技術問題をとり入れたものといえる。

中国大陸の研究を除けば、台湾の学者の研究が注目に値する。例えば、呉文星の「東京帝国大学と台湾‘学術探検’の展開」¹⁶、許進発の「台北帝国大学の南方研究(1937-1945)」¹⁷、鄭麗玲の「台北帝国大学と海南島—海南島の学術調査を中心して」¹⁸などがある。

近年、中日間では「植民地教育史」の研究が非常に盛んになっており、中国と日本で、多数のシンポジウムが開催された。その中に「植民地科学」に関するものもある。

中国では「植民地科学」について、科学技術史的な議論の他に、政治社会史や企業史や移民史などにも価値ある成果があげられている。例えば、姜念東他

¹² 陳凡、梁波「日本“殖民地科学”研究述評」『科学技術与弁証法』第5期(2001年)、62-66頁

¹³ 劉国華「偽滿州国大陸科学院」『中国科技史料』第4期(1986年)
呂振濤等『偽滿科技史料輯覽』黒龍江科学技術出版社、1988年
曉宇、夷声「大陸科学院」『科学学研究』第9巻第4期(1991年)
孫邦主編『偽滿文化』吉林人民出版社、1993年

¹⁴ 李茂傑「日本帝国主義の科学技術侵略」『植民地と文学』(株)オリジン出版センター、1993年、200-214頁

¹⁵ 董光璧主編『中国近現代科学技術史』湖南教育出版社、1997年、581-593頁

¹⁶ 呉文星「東京帝国大学と台湾‘学術探検’之展開」『台湾史研究—回顧与研究』中央研究院台湾史研究所籌備處、1997年

¹⁷ 許進発「台北帝国大学の南方研究(1937-1945)」『台湾風物』第49巻第3期(1999年9月)

¹⁸ 鄭麗玲「台北帝国大学と海南島—以海南島の学術調査を中心」『台湾風物』第49巻第4期(1999年12月)

『偽満州国史』¹⁹、蘇崇民の『満鉄史』²⁰、顧明義他の『旅順、大連に侵出する日本の四十年史』²¹、沈殿忠他の『中国における日本の僑民』²²などである。

私自身も「植民地科学」についての研究として、論文、レビュー、コメントなどのいくつかを発表してきた²³。また、『技術と帝国主義—中国における日本の植民地研究機関を中心して』(中国・山東教育出版社)を2006年1月に出版する予定である。

2. 「植民地科学」の範囲と時代の区分

植民地科学とは、帝国主義者が科学・技術を手段として侵略政策や植民地支配を進め、財産や資源を略奪するために、植民地に移植して展開した科学を指すものである。ここで言われる「科学」は広い意味で、技術や人文社会科学も含んでいる。例えば、民俗学や人類学の調査なども含まれていたのである。

中国における日本の「植民地科学」に関係する機関は、だいたい三種類に分けられる。一つは、科学技術試験研究機関、二つ目は科学技術普及機関、そして三つ目は科学技術団体である。

¹⁹ 姜念東等『偽満州国史』吉林人民出版社, 1980年

²⁰ 蘇崇民『満鉄史』中華書局, 1990年(邦訳, 蘇崇民著, 山下睦男, 和田正広, 王勇共訳『満鉄史』葦書房1999年)

²¹ 顧明義等『日本侵占旅大四十年史』遼寧人民出版社, 1991年

²² 沈殿忠主編『日本僑民在中国』遼寧人民出版社, 1993年

²³ 論文

梁波・翟文豹「日本在中国的殖民科研機構—上海自然科学研究所」『中国科技史料』第23卷第2期(2002年)

梁波・馮煒「満鉄地質調査所」『科学学研究』第20巻第3期(2002年)

梁波・陳凡「日本在中国的殖民科研機構—満鉄中央試験所」『中国科技史料』第22巻第2期(2001年)(邦訳:『満鉄中試会会報』第28号, 平成14年12月)

梁波「植民地科学と満鉄中央試験所」『東瀛求索』第12号(2001年12月)

梁波・陳凡「試論“植民地科学”」『自然弁証法通訊』第22巻第6期(2000年)

レビュー

梁波「中国的“殖民地科学”研究」『IL SAGGIATORE』31号(2002年)

陳凡・梁波「日本“植民地科学”研究述評」『科学技術与弁証法』第18巻第5期(2001年)

梁波・陳凡・馮煒「国外關於技術与帝国主義研究之述評」『東北大学学报(社会科学版)』第3巻第3期(2001年7月)

感想(コメント)

盧振挙・梁波「伝統を継いで変化に応じて国際的に有名な研究所として歩み続けるために」『満鉄中試会会報』第27号, 平成13(2001)年12月

梁波「植民地科学の研究に関する考察」『満鉄中試会会報』第26号平成12(2000)年12月

梁波「植民地科学における満鉄中央試験所」『満鉄中試会会報』第25号平成11(1999)年12月

『満洲科学技術要覧』²⁴によれば、日本は、1942年8月現在、中国の東北地域では78箇所の研究機関と12の大学を設立していた。これ以外にも、東北地域の各地で、59個の保健所、病院、衛生試験所及び防疫所などを設置していた。科学技術の普及機関としては大規模（県レベル以上）の図書館、博物館、教育館及び資源館などを含めて、27箇所があった。満洲国の科学技術団体には、「満洲帝国科学技術聯合部会」、「満洲国調査機関聯合会」、「満洲発明協会」、「日満農政研究会」、「満洲能率協会」の五つがあった。

これは、1942年8月現在での中国の東北地方における研究機関の数量である。歴史的にみれば、日本が中国で設立した研究機関は、このような数量ではない。これらの研究機関は、複数回にわたって、独立したり合併したりもしている。特に、満洲国が成立した以後では、数多くの研究機関が大陸科学院管下に移譲され、一部研究機関は、途中で消滅している。だから、日本が中国において設立した研究機関の数量は、統計資料によっては、同じ数値ではないこともあると思われる。東北地方以外を加えれば、日本が中国で設立した植民地研究機関は100箇所以上になったはずである。『満洲科学技術要覧』だけを統計しても、第二次世界大戦末期の植民地占領地域では、植民地研究機関の研究者、技術者の人数は万を越す数になっている。

この他にも、日本が占領した中国の華南、東南アジア及び太平洋諸島の研究機関を「南方共栄圏」の範囲に取り込んでいたので、ここの244箇所を合わせることになる²⁵。さらに、朝鮮、サハリン島などの研究機関を加えれば、一番多い時には、日本が支配する植民地研究機関はおよそ400箇所ぐらいになったものとみられる。

日本が、中国の東北地域で設立した78箇所研究機関と12個の大学は、その中身によって、だいたい10種類に分けられよう。即ち：

- (1) 総合試験研究機関、例えば大陸科学院
- (2) 満洲国国立学校関係試験研究機関、例えば新京医科大学
- (3) 満洲国国立農業関係試験研究機関、例えば国立公主嶺農事試験場
- (4) 関東州関係試験研究機関、例えば関東塩業試験場
- (5) 満鉄関係試験研究機関、例えば満鉄鉄道技術研究所
- (6) 鉱業関係試験研究機関、例えば満洲炭鉱株式会社石炭研究所
- (7) 製鉄並機械関係試験研究機関、例えば株式会社昭和製鋼所研究所
- (8) 化学工業関係試験研究機関、例えば株式会社満洲石炭液化研究所
- (9) 窯業関係試験研究機関、例えば撫順セメント株式会社試験室
- (10) 其他試験研究機関、例えば満洲電信電話株式会社技術研究所など。

²⁴ 国務院総務庁企画処第二部科学審議委員会『満洲科学技術要覧』康徳十（1943）年版（限定版）。この本は限定版で、当時、500冊（番号付け）だけ出版された。日本では、まだ見つかっていない。これは遼寧省図書館の蔵書によった。もともとの番号は440号、表紙には「極秘」（ごくひ）という文字の表記がある。そして、今まで、中国における日本の「植民地科学」に関する史料として一番完璧な資料のひとつだと思われる。

²⁵ 東京帝国大学南方資源研究会『南方共栄圏内における主要学術研究機関一覧表』昭和17（1942）年3月

これらの研究機関を簡単に分析すれば、以下のようにまとめられる。

第一には、これらの研究機関の規模、レベルなどには大きな差があることである。

この 90 箇所の機関中、研究者や技術者の総数は 4237 名になるが、100 人以上のものは 11 箇所あり、研究機関の数量の中で、12 パーセント占める(表 1)。

大部分の植民地研究機関の規模は小さい。そのうち、研究者や技術者が 10 人以内のは 30 箇所あり、この数は研究機関の総数の 3 分の 1 を占めていた。

現在入手可能な統計データによると、74 箇所の研究経費の総量は 3200 万円以上に達し、100 万円を超える研究機関は 7 個あるといわれている。研究所の中で最も規模の大きい研究所である満鉄中央試験所の毎年の研究経費は新京工業大学(442 万円)に次いで、375 万円に達していた。(その当時の円は今の 2000~3000 倍になる)

表 1 100 人以上の植民地研究機関(1942 年現在)

順番	研究機関名前	人数
1	満鉄中央試験所	592
2	満州国大陸科学院	457
3	満鉄鉄道技術研究所	431
4	満洲鉱業開発株式会社鉱産資源調査所	159
5	満洲軽金属製造株式会社研究部	157
6	国立公主嶺農事試験場	127
7	撫順炭鉱研究所	125
8	満洲鉱業開発株式会社鉱業試験所	112
9	地質調査所	107
10	衛生技術廠	100
11	株式会社本溪湖煤鉄公司鉄鉄部分析課	100

資料：国務院総務庁企画処第二部科学審議委員会『満州科学技術要覧』康德 10 (1943) 年

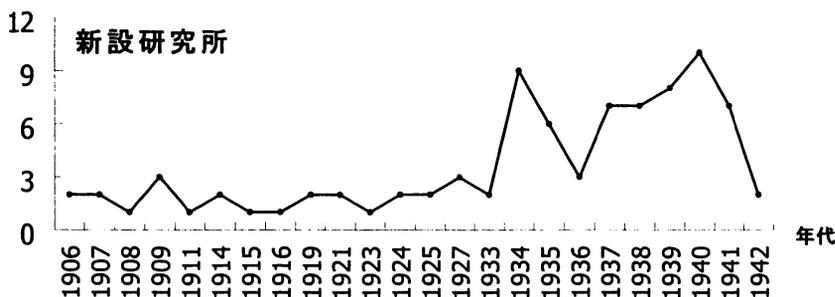


図 1 日本植民地研究機関設立年代

第二には、設立された時期からみると、1931 年の「九・一八事件(柳条湖事件)」以降、新設の研究機関がますます増えたことがわかる(図 1)。この 90 箇所の研究機関中(その中には 4 箇所の設立時期は不明であった)、58 箇所が 1931 年以降に設立されている。これらは研究機関の総数の 64 パーセントを占めていた。この 58 箇所の中の 41 箇所は、1937 年「盧溝橋事件」以降に設立されたが、

1931年以降設立した研究機関となると71パーセントを占める。これから、「九・一八事件」以降、特に日中戦争が全面的に展開されて以後に、日本帝国主義が「科学技術動員」を行ない、「植民地科学」をますます強化したことが明らかになる。

第三には、11箇所の大規模の研究機関では満州国大陸科学院を除けば、すべてが企業に所属する技術開発機関であり、これらの企業は資源の採掘、運輸、加工の分野に属するものであった。これから、植民地研究機関が日本帝国主義の経済略奪に密接な関係があることが明らかになる。

第四には、植民地研究機関は分布地域が広く、中国の東北地方に散在していた。これらの研究機関は新京（長春）、奉天（瀋陽）、大連やハルビンなどのような大都市にあるだけでなく、辺鄙な田舎にさえ設立された。

G・バサラは、西方科学が非西方国家に移転する過程を三段階に分けている。すなわち、資料を捜し集める段階、植民地科学の段階、独立科学研究段階である²⁶。これにあてはめて、第二次世界大戦前と大戦期間に、日本が中国に対して行った科学技術の移植もまた、自然資源調査、工業化移植・独創と戦時研究の三つ時期に分けられると考える。一部の総合的・大規模な研究所は、すべてこの三つの時期を経ている。例えば、満鉄中央試験所の例を見てみよう。この研究所は、自然資源調査時代に撫順の石炭及び油母頁岩などを調査・試験している。移植・独創工業期には、大豆油のベンジン抽出作業やアルミニウムおよびマグネシウム製造工業を行い、戦時研究時期には石炭液化工業などを展開したということである。

中国における日本の「植民地科学」を時代区分的にみて、「植民地科学」の全体を、まだ、はっきりとは区分することはできないが、だいたい1937年「盧溝橋事件」以降、植民地研究機関のほとんどが戦時研究時期に進んだことはいえよう。戦時防疫とか、占領区の図書・学術見本の接收とか、細菌調査などということが指標としてあげられ、この時期に、軍隊からの委託研究が急速に多くなっている。

ところで、最近の研究の発見によると、植民侵略者が戦時研究を行ったこと以外に、被支配地域の人民が戦時研究を行ったこともあった。1941年8月3日、中国共産党の八路軍総司令の朱徳は「科学と抗日戦争を結びつけて」を発表して、「すべての科学、すべての科学者、抗日戦争と建国のために奉仕しながら努力すべきである、これは日本のファシストの強盗どもに対する戦勝に有利であり、三民主義の民主共和国に建設することに有益である」、「植民地では科学が順調に発展することは想像することはできない。植民地は科学の墓であり、温室ではない」、「われわれは最大限努力して前進し、科学と抗日戦争・建国の大切な事業を密接に結び付けて、科学の方面の勝利によって抗日戦争・建国の勝利を勝ち取るのである」²⁷と述べている。

植民地人民の科学動員研究についても重視すべき課題であると思う。

²⁶ George Basalla, "The Spread of Science," *Science*, 156(1967): 611-622.

²⁷ <http://www.people.com.cn/GB/33831/33839/34103/34117/2536656.html>

3. 「植民地科学」史料と研究の問題意識

「植民地科学」に関する全体の史料は非常に膨大である。日本の「植民地科学」史料についても、中国、日本の他に、朝鮮、韓国、ロシア、アメリカなどにもあるし、言語的に見ても日本語・中国語・朝鮮語・ロシア語・英語などにわたっている。

中国では東北地方、北京、上海などに散在しているが、大部分の資料は未整理のため、探索するのは難しい状況にある。

中国での「植民地科学」史料の大部分は、「満鉄資料」の名義で残されている。満鉄獣疫研究所の資料だけでも出版されたものが24巻になる²⁸。1996年7月8日「中国近現代史史料学会満鉄史料研究分科会」が設立された。1997年、中国の「全国哲学社会科学企画室」は国家社会科学基金「九・五」期間の重要なプログラムとして、「満鉄資料」の整理研究を発足している²⁹。この研究の補助金は、40万人民元（600万円に当たり）をもらっている。これは社会科学プログラムの中では非常に多額である。中国の60箇所以上の図書館、文書館、資料館などの500人ぐらいの学者が関与している。今日まで、このプログラムの第一段階として、『満鉄原編目録データバンク』（4000万漢字以上）、『中国館蔵満鉄資料データバンク』（近く5000万漢字）、『中国館蔵満鉄図書資料聯合目録』の研究が大体終わっている。すでに『中国館蔵満鉄図書資料聯合目録』（大連出版社、2003年11月）が出版され、書の全体は3000万漢字、32巻、約20000ページになる³⁰。今後、中国では『珍藏満鉄資料選集』を編集する準備として、100巻、1億漢字を編集する予定となっている。

今日では「植民地科学」研究としては、「満鉄資料」の中から科学技術史関係資料を抜き出して、専門的な科学技術史資料を編集することが必要である。そして、その「植民地科学」資料を活用することが非常に重要であろう。それは、「植民地科学」資料の研究によって、一方では中国の当時の社会経済状況の歴史資料を保存し整理することができるし、他方では今日の経済建設や鉱産資源や環境保護などに対して価値がある情報を掘り出すこともできるからである。例えば、経済学・社会学の研究では、一橋大学と中国の南開大学が協同して、植民地時代の中国華北農村の満鉄調査資料を活用し社会学に関する比較研究を行い、大きな成果を挙げているが、これは、その好例である³¹。また、筆者は満鉄中央試験所の研究及び調査報告を読んでいる時に、各地の水質調査報告に関する資料が沢山あることを知った。これらは70年ぐらい前の資料である。環境問題は人間にとって一番重要な問題であるが、水もその一つである。今日の水質と資料を、当時の水質と比較することにより、環境の変遷が分かると思われる。

²⁸ 遼寧省档案馆編『満鉄密档・満鉄機構』（1-24巻）、広西師範大学出版社、2005年

²⁹ <http://www.npopss-cn.gov.cn/2005sj/20050606mtzl.htm>

³⁰ 曹幸穂：満鉄資料整理研究及其學術利用価値
(URL: <http://www.ihns.ac.cn/yanjiu/modern/jianb6.htm>)

³¹ 三谷孝編集『中国農村の変革と家族・村落・国家—華北農村調査の記録』汲古書院、1992年

これ以外にも、今年、中国の重要な科学技術史的イベントとしては「神舟六号」が成功裏に打ち上げられ、初めて多人・多天(複数人搭乗長期飛行)の有人宇宙船が実現したことがあるが、実は今年には、もう一つ中国の重要な科学技術史的イベントがあった。それは青蔵鉄道が開通したことである。この鉄道は青海省の西寧からチベットのラサまで、全長 1956 キロにのぼる。鉄道の一部分は、550 キロの凍っている地層帯を通過している。凍土層の問題が、この鉄道の一番難しい技術問題であった。実は植民地時代に、満鉄を建設するとき、凍土層の技術問題にぶつかっている。満鉄鉄道技術研究所の資料に同じ技術を研究したことが見ついている。このような「植民地科学」資料は、利用価値があるというべきである。

植民地時代の史料は、日本では一部資料が未公開であるかもしれない。これに関連して1987年、筆者は、大学の採鉱専攻を卒業、黒竜江省の松江銅鉱に配属された時の、あることを思い出す。当時、中国は改革開放以後、80年代初めに外国との合弁企業の設立を始めていた。ある日本人が「私は松江銅鉱との合弁企業の設立を希望している」と言った。私の同僚はびっくりして、「この銅鉱をどうして知っているのか」と尋ねた。その日本人は「昔からこの銅鉱を知っている」と答えた。今でも中国の東北地方の自然資源の情報については、日本人のほうが中国人よりも詳しいかもしれない。

中国の大連セメント工場と日本の小野田セメント(現太平洋セメント)株式会社が合弁してできた大連-小野田セメント株式会社が、80年代に大連では一番早い合弁企業の一つであるが、この大連セメント工場はもともと植民地時代の小野田セメント大連工場であった。

「植民地科学」を研究すれば、色々な問題に関連することになる、例えば：

▲戦争と科学

戦争は科学にどのように促進して発展するのか。それからまた、科学は戦争にどのように奉仕するか。植民地研究機関は多くの研究は軍部に依頼されたことを見れば、この問題に関わらざるをえない。『満州事変と満鉄』の中に記載されている中央試験所による「装甲列車試験」、「飛行機用燃料油凍結に関する研究」等の18項目軍用研究はその典型的な例である³²。

▲戦争と科学者

植民地時代の科学者はどのような役割を演じたか。満鉄中央試験所所長という丸沢常哉のような植民地科学者の主張をどのように評価できるか。それらの思想歷程はどのように変わるのか。

▲科学技術移転

海外の技術あるいは日本の本土の技術は植民地にどのように移転したか。

▲科学技術倫理

731部隊の石井四郎は医学者という、ここからは科学者・技術者の倫理の問題が問われるべきである。

³² 南満州鉄道株式会社総務部資料科『満州事変と満鉄』同社、441-442頁

▲日本本土の科学技術と「植民地科学」の関係

『日本科学技術史大系』の中では、ときどき「台湾」「大連」「鞍山」「撫順」「朝鮮」の字句が見られる。「植民地科学」は戦時日本の科学技術体制にはなくてはならない構成部分だと思われる³³。日本の「植民地科学」は日本の本土の科学研究とでそれぞれ分業し、また、お互いに協力し、基礎研究は日本の国内で行われ、応用研究は植民地及び付属地域で取り組まれていたと見るべきであろう。

▲科学技術とグローバル化

植民地科学は歴史現象として、十七世紀科学革命以来存在してきた。そして、今日に至るまで元植民地国家と地域の科学・技術及び社会発展に影響を及ぼしている。また、新しい歴史条件下において新たな顔付きで出現している。軍事的帝国主義と比べて、科学・技術帝国主義が元植民地に与える影響はより深刻であり、長期にわたるものがある。今日の科学技術のグローバル化は「植民地科学」にいかなる問題があるのか。嘗てと同じことは何か、また、違うことは何かが問われよう。

さて、われわれが「植民地科学」を研究するのは、どのような問題意識からであるべきだろうか。このような問題には簡単な一言では答えられない。

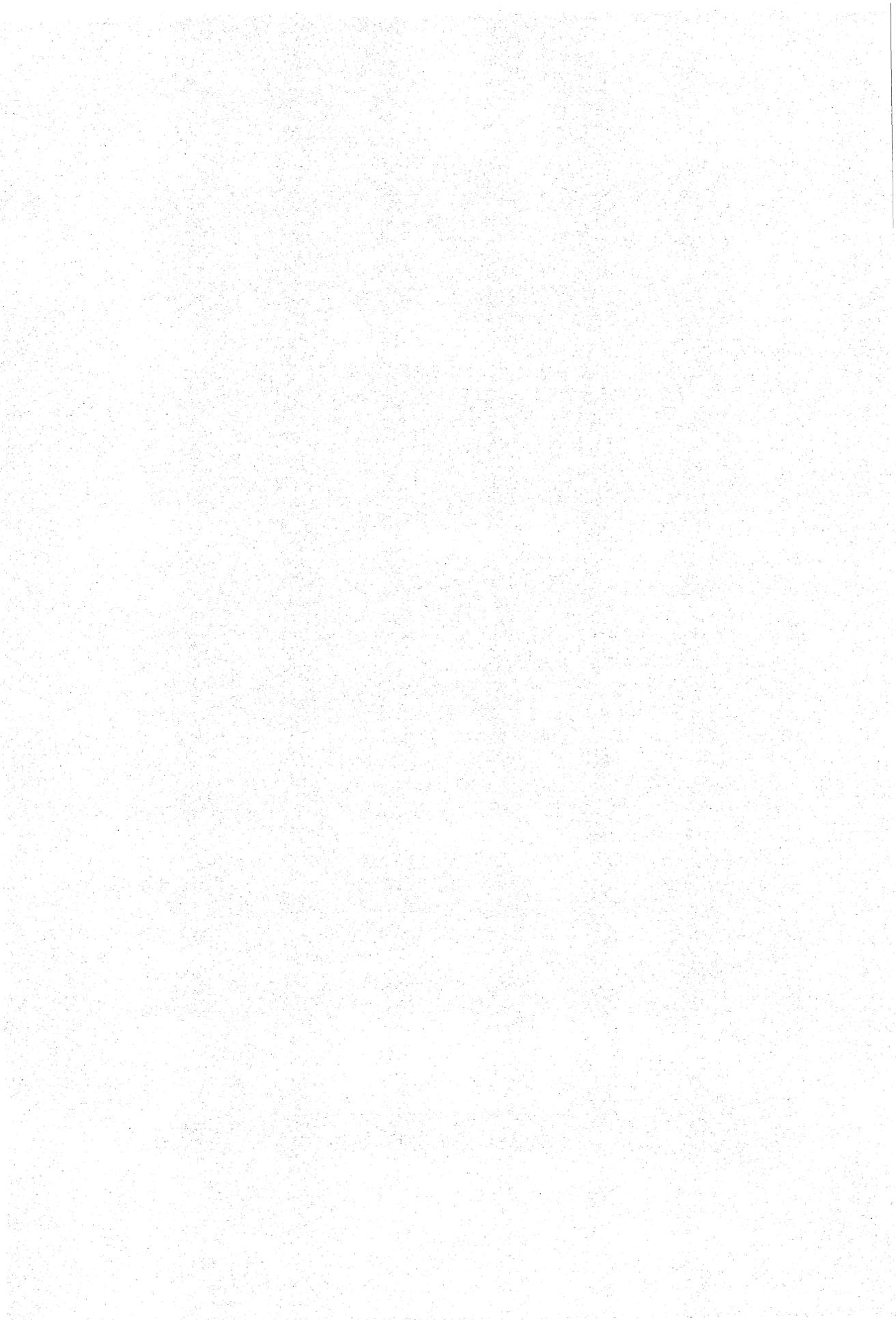
とはいえ、日本帝国主義は、中国に侵略してから、中国科学技術の本土化の過程を妨げたと思われる。中国科学院院長の路甬祥は「日本帝国主義の侵略は中国科学事業の発展に対しては災難的なことであった」、「すでに抗日戦争の開始以前、中国国内でも大学の科学教育体系は次第に確立、完備していった。1930年から1936年にかけて、各大学の理工系の卒業生は、急速に増え、留学生の人数も増えた。しかし、戦争のために、大勢の人々が途中で学業をやめ、さらに一歩進んで勉強するチャンスを失っていった。抗日戦争の八年間、中国は一世代の科学者を失った。さらに、いくつかの世代の科学者の科学的事業にもその影響が及んだ」³⁴と指摘している。だから、ある程度、中国の科学技術の発展は食い止められたと思う。

植民地科学を研究することは、その侵略性を暴き出すためだけではなく、さらに歴史資料を掘り出し、科学技術と帝国主義の形成の関係を深刻に検討することであろう。植民地科学を科学技術発展の社会的歴史背景において、科学自身の発展と科学・社会の関連性の二つの側面に注意することこそ植民地科学を把握し、理解することなのである。

「植民地科学」の研究については、様々な問題がたくさんあると思われるが、その中で、どのような歴史観を打ち立てるかが、おそらく一番重要なものだと思う。

³³ 日本科学史学会『日本科学技術史大系・第七巻・国際』第一法規出版社、1968年

³⁴ 路甬祥「中国近現代科学的回顧と展望」『自然科学史研究』第21巻第3期(2002年)、197頁



資料紹介

浅田常三郎先生と長岡半太郎先生と

フリッツ・ハーバー先生

福井崇時*

1. はじめに
2. 浅田常三郎先生が理化学研究所の横山すみさんへ出された手紙
3. ハーバー先生と北海道函館（西村雅吉）
4. 海水から金を採る夢（西村雅吉）
5. 海水中の金の物語（奥野久輝）
6. 柴田雄次先生とハーバー先生とのやりとり（田中実）
7. 大阪大学理学部創立当時の思出（浅田常三郎）
8. 謝辞
9. 註

1. はじめに

数年前に読売新聞社の北村行孝氏^[1]から『エノラ・ゲイ』^[2]に記述されている浅田常三郎先生に関する内容の真偽について質問を受けた。私の記憶とはかなり違う記述である。著者は「インタビューと文献が資料源」で、通訳の努力に感謝すると書いている。さらに訳者松田氏も記事には満点はつけられぬ、言葉の壁は厚いと書いている。インタビューの相手は浅田先生だけではないが「言葉の壁は厚い」と述懐させた日本人の1人は浅田先生ではないかと思われる。昭和59年3月7日に逝去された浅田常三郎先生の『追悼文集』^[3]に関西圏外から来た弟子共が一番の思い出としてそろって書いているのが先生の大阪弁、正確に言うと泉州堺地方の言い回しやアクセントが強く混在している関西弁、での講義や実験指導の説明が判らず大いに困ったと。戦後、先生が行かれた欧米の学会や視察の報告を教室談話会でお聞きした時も色々な場面が出る先生の英語発音は関西弁風ドイツ語訛りであった。

先の追悼文集に奥田毅先生と伏見康治先生は、長岡半太郎先生の「水銀を金に換へた」実験に浅田先生が助手として参加されたこと、

* 名古屋大学名誉教授 名古屋大学大学院理学研究科物理学教室

長岡先生は十数年にわたって水銀放電により水銀スペクトル線の超微細構造を調べておられ^[4]、そのスペクトルに金らしき線があり放電管壁にも金と思しき痕跡があることから「水銀が金に換った」と結論されたことが『長岡半太郎伝』に記されていると書いておられた。『長岡半太郎伝』には「水銀を金に換へた」詳細な記述^[5]があるが実験の具体的な方法は良く判らない。浅田先生が理研時代にされたお仕事やドイツ留学について調べるため仁科記念財団理事の鎌田甲一さん^[6]に資料をお願いした。財団の玉木英彦先生のお計らいで浅田先生が横山すみさん^[7]へ出された手紙の写しを貰った。

この手紙には水銀還金実験を実行された詳細と、空中窒素固定(アンモニアの合成)で1918年ノーベル化学賞を受賞されたハーバー先生が所長をされているベルリンのカイザー・ヴィルヘルム研究所へ留学されハーバー先生の研究室で金の微量分析検出技術を習得したこと、そして帰国後大阪の塩見理化学研究所へ移られた頃までの事が書かれていた。本論文では、まず第2節でこの浅田先生の横山すみさん宛の手紙を紹介する。

地球化学が専門の北野康さん^[8]との雑談で浅田先生が留学された先のハーバー先生が海水から金を採取しようとしたことや微量分析の話をした時、「北大の友人がハーバー先生について書いたものがある。写しを貰ってあげる」と言うことで、数日後その写しが送られて来た。北海道大学化学教室西村雅吉名誉教授及び同教室奥野久輝名誉教授が所々に書かれた文章で、ハーバー先生と北海道函館との係わり及びハーバー先生と金にまつわる話が書かれていた。これらを第3節、第4節、第5節で紹介する。北野さんからはさらに、科学史家の田中実氏が書かれた日本化学学会の大御所柴田雄次先生の伝記の中から、ハーバー先生を柴田先生が訪問された時の話の部分の写しも送られて来た。これを第6節で紹介する。

最後の第7節で、浅田先生が大阪大学50周年時に書かれたと思われる一文を紹介する。この文章では、浅田先生と長岡先生との師弟関係、浅田先生のドイツ留学、とくにハーバー先生の金の微量分析に対する研究態度に敬服されたこと、さらに塩見理化学研究所や大阪大学理学部創設、理学部施設の詳細などが記述されていて興味深いので、全文を掲載しておく。

2. 浅田常三郎先生が理化学研究所の横山すみさんへ

出された手紙

便箋 18 枚に書かれた手紙の核心となる実験の詳細な手順と経緯を分かり易くするため手紙の文章を区切り番号付け段落にした。手紙の中に先生が画かれた図は拡大コピーをし出て来る順に番号を付けまとめて示した。手紙の日付けは 1983-6-21 (この書き方は先生の記述のママ、以下同じ)である。

(前文の数行を省略)

古い文書を整理していましたら 1921-1-21 仁科先生が長岡先生に Hg→Au の問題で差しあげたお手紙を小生が長岡先生に頂いたものが小生の貴重品箱の中から出て来ました。御参考までに Copy をお送りします。仁科先生の遺品として仁科記念室に保存下さるならば本文を御寄贈いたしましても結構です。

1925 年 11 月 頃の事を小生の覚えている所を書きます。

長岡先生は三島忠雄さんと Hg-Hyperfine structure の写真を撮っておられた。アークの陽極付近でライン幅が広がる。杉浦義勝さんは陽極付近で電場が強くなりアーク中の電子が集まりそのために起るスタルク効果による拡がりだと結論 その拡がりの幅から数万 Volt/cm の電場が発生しているとした。三島さんは普通のスタルク効果による明瞭な拡がりではなく、沢山のラインの集まりのようなので検討すべしとの意見でしたが、三島さんはおとなしいので控え目に言われた。

Miethe が水銀放電から金を発見したという報告^[9]が出たので Hg→Au を信じ込むようになられました。

理研の化学に金の専門家安田又一さん(理研 1 号館)が居られたので長岡先生は放電実験に使った水銀の化学分析を依頼された。多分その翌日、安田さんが長岡先生の室(3 号館)に来られ「いやー、おてがら、おてがら」と長岡先生をほめあげ Hg から Au が化学的に検出したと報告されました。

長岡先生は Miethe の発表、杉浦さんの理論などを参照して、翌日、新聞記者を招集して水銀を金にしたと発表されました。

僅かの日数後には杉浦さんは欧州に留学されるので、浅田と町田敏男助手がこの Hg→Au を確認する実験をすることになりました。

(1) 作業を検討し最初に水銀の精製をした。

図1のような真空用肉厚トラップ瓶3個を連結し、中央の瓶に水銀と稀硝酸を入れる。水流ポンプで排気、前後の瓶は飛び出る水銀の粒を捕捉するためのもの。排気すると空気はHgの底から吹き出しHgと稀硝酸は烈しく沸騰するように接触するのでHg中に混在する不純物の卑金属Pb, Zn, Sn, Cd,などは空気により一部酸化し硝酸に溶解出す。勿論相当量のHgも硝酸中にとける。この作業は一週間位連続した。この操作を「ブクブク」と呼んだ。

(2) 次は水銀から水分の除去。

図2のように硝子管の下端に鹿皮を絹糸で括りつけ、上から「ブクブク」を終えた水銀を入れる。水銀が20-30cmの高さになると鹿皮から(多分皮の汗腺と思われる細孔から)水銀が噴出し下の承皿に溜まる。水銀から卑金属が完全に除去されていると水銀の表面は鏡の如く美しいが、少しでも残っていると鹿皮から落ちる間に酸化し水銀表面に局所的に曇りが出る。この場合の水銀は「ブクブク」を繰り返す。

(3) 次にAu, Ptなどの貴金属除去は真空蒸留法。

理研石田研究室にドイツから来ていた硝子細工熟練者Kesslerさんが硝子で図3のような水銀の連続真空蒸留装置を作ってくれた。これを「タコ坊主」と呼んでいた。

Cenco油回転ポンプで排気すると、「ブクブク」を終えた水銀がヒーターのある中央まで上昇。安全漏斗下端は初めは封じてある。

水銀は蒸発し「タコ坊主」上部で凝縮し下部へ落ち順次安全漏斗に溜まる。一杯になると安全漏斗下端を切る。蒸留された水銀は下の容器に溜まる。

一週間連続操作後ではガイスラー管は放電せぬ位良い真空になる。

ヒーター温度を調整し24時間に1kgの水銀が蒸留されるようにした。

この装置を3基並べ水銀は3回真空蒸留した。この結果技術的には金、銀、白金などの貴金属は痕跡も含まぬ程に純粋な水銀になったと信じていた。

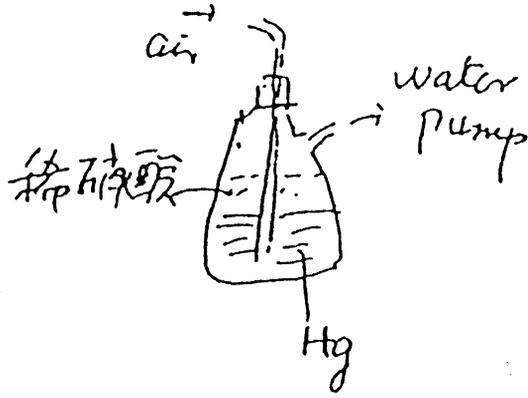


図1

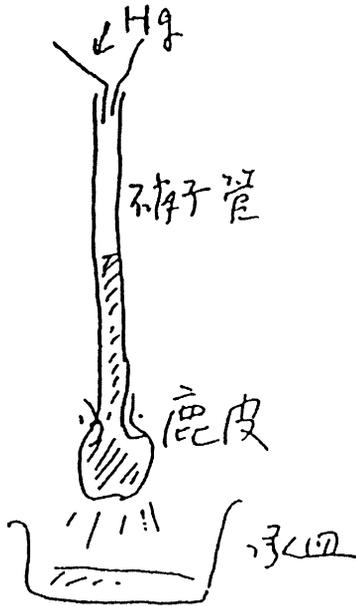


図2

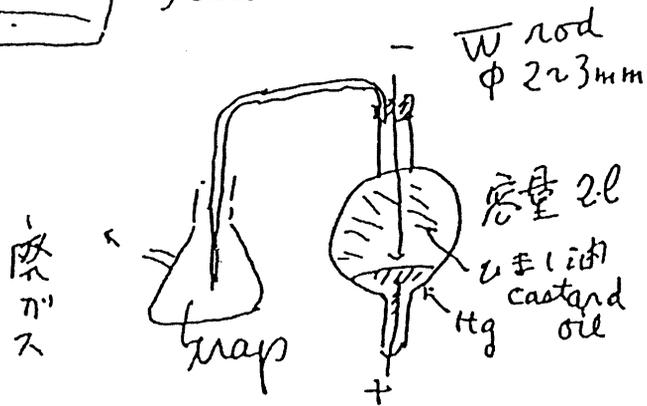


図4

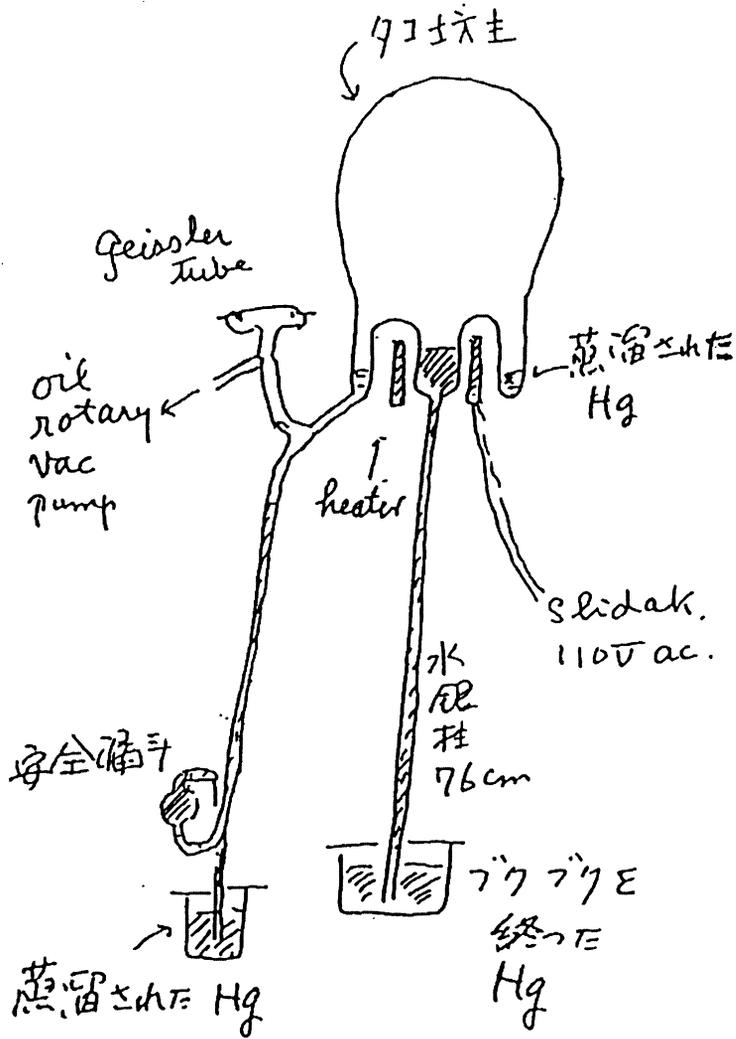


図3

(4) 放電作業.

放電電場を大きくするため油中では放電開始電圧が高くなるので、ヒマシ油中でタングステン棒電極と水銀プールとの間で放電をさせた。図 4 がその装置である。「パチパチ」の実験と呼ぶ。電源は瑞西の Klingerfuss 社製（空气中で針電極と板電極の間隔 150cm までの火花放電が可能）を使いインダクションコイルで高電圧にした。容器外を通じて放電し容器は破損し水銀が飛散することがよく起こった。それで磁製の一升徳利（たぬき徳利）を利用、底に直径 10cm の穴を明け徳利を倒立させて実験した。名古屋の日本碍子社に依頼し金を除去した珪石を材料として実験装置を作って貰った。

もし水銀が金に変換すると廃ガス中にヘリウムが混じっている可能性があるので東京大学理学部化学教室の鮫島実三郎教授にヘリウムの存否を化学分析して貰った。分析結果はヘリウムは発見できなかった由である。

放電 3-10 時間後にヒマシ油はコールタールに似た黒色で粘っこいペーストとなり肉眼ではこの中に水銀は認め難い軟膏の如くになった。

この分析には大いに苦勞した。浅田も町田も手は真っ黒になり石鹼で洗っても落ちない。ヒマシ油の分解した油性糊状にヒマシ油分解で出来た炭素及び水銀の微粒子が皮膚のすき間を埋めていた。

(5) 硬質ガラスの枝付きフラスコにこのペーストを入れ真空蒸留すると水銀と少し茶色の油が出て来る。最後にフラスコの内部に炭素の塊が残った。もし金が出来ているとこの炭素塊の中に残留している筈である。

酸素ボンベから酸素を除々にフラスコ内の炭素塊に注ぎゆっくり炭素を燃焼さす。殆ど残渣は無いが最後に枝付フラスコの底に小さい紅色の着色した所が出来ている。鮫島教授はルビンガラス^[10]で金が存在する証明かも知れぬとの結論であった。

この金が水銀から変換したものか、或は日本碍子社製徳利の石英または珪石から混在したものか決定はなかなか出来なかった。

顕微鏡での測定で枝付きフラスコの底に出来るルビンガラスの源泉を決定することは当時は困難であった。

(6) 杉浦さんは 1921 年早々に欧州に留学のため出発されるに当たり、この実験は間違ったと思へる、長岡先生の名譽を害せぬように君達で解決せよと言われた。三島さんは老骨の自分は自分の責任で解決したいと言い出された。仁科先生から長岡先生宛の手紙からエネルギーの点で問題があり長岡先生もその解決に苦慮された。

(7) しかし、浅田、町田の実験から毎回ルビンガラスがでる。不純物混入の疑いは日本碍子の放電に利用した徳利の純度である。こ

の徳利を分析したがそれからルビンガラスは出来ない。長岡先生もHg→Auを大々的に発表された事なので簡単に取り消す事は理化学研究所の責任にもなると考えられた。それで、ルビンガラスの件の解決をしてから明らかにする事に指示された。

(8) 浅田は理研の裏の三谷館に下宿し、毎日目が覚めると理研に出て実験を繰り返した。長岡先生は日曜日でも10時に理研に来られ浅田町田の実験の横に立ち会い色々手伝って下された。御老齢の先生はよく居眠りをされた。日曜は先生の奥さんの御手製の菜飯の握り飯を女中さんが理研まで届けて下さり北洋蟹の罐詰をマイオネーズで先生を交えて三名で昼食をとり、夜も9時頃まで実験室に居られた。

(9) 浅田は文部省在外研究員となり大正15-2-9 1926 ドイツに留学することになった。Geh. F. Haberは伯林 Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemieの所長であり、海水から金を集め第一次大戦のドイツに課せられた賠償金を完済するための方針で海水中の金の採集とその金の微量分析を行っていた。そこでは女性の研究助手は海水1立中に 10^{-10} gまでの金は分析検出が可能であった。浅田はそこで金の微量分析技術を教わった。ハーバー先生もMietheの実験、長岡先生の実験を追試した。ひまし油と水銀との混合物を放電した結果出来るペースト状の物質は分析不能として捨ててしまった由である。

(10) 浅田はハーバー教授の研究室で行った金の微量分析の結果を Tsunesaburo Asada und Kurt Quasebarth: "Über die Entgoldung von Kathodenmetall bei der Glimmentladung." Zeitschrift für Physikalische Chemie, Abt. A, BD. 143 (1929) p.435-455. 及び

浅田常三郎: "活性炭素による金の定量法."

理研彙報 第十輯第六號昭和6年(1931年)頁463-465.

に発表している。

(11) 「パチパチ」の実験は町田敏男が続行し、その結果の資料は大阪市塩見理化学研究所に帰朝していた浅田の手許に送付して来られた。浅田はハーバー先生の所で金の微量分析を教わって来たので、ルビンガラスのような方法でなく金を 10^{-8} gまで確実に検出でき、毎回この程度の金が検出されるが、それが水銀から出来たか、実験装置から混入したかが決定できていない。ハーバー先生は放電で出来たペースト状のひまし油分解物、炭素、水銀の混合物を分析不能として捨ててしまったのを日本ではこれを 10^{-8} gの金の検出までできたことを喜んでいる。

(12) 1983-6-23日に1925-11の思い出を記載するに当り浅田以外の

関係者が全部他界していられ感慨が深い、この報告を書き他界せられた研究者たちの御冥福を祈る次第である。

長岡半太郎先生、仁科芳雄先生、F. Haber 先生、鮫島実三郎先生、杉浦義勝先生、三島忠雄さん、町田敏男さん、安田又一さん。

以上で手紙は終わっている。水銀が金になる件の決着については書いておられない。伏見先生、奥田先生も明確な決着がどのようになったかは書いておられない。

『長岡半太郎伝』に記述されている菊池正士先生の批判がその答えと言えよう。^[12]

3. ハーバー先生と北海道函館（西村雅吉^[13]）

フリッツ・ハーバーの叔父ルードウィヒ・ハーバーは貿易港であった函館にロシア、イギリスなどの領事について、明治七年二月に初代函館駐在ドイツ代理領事として赴任し、外人居留地内のプラキストン商社の中に事務所を開設した。着任後半年を過ぎた八月十一日は休日の良い天気であった。散策に出掛けた彼は函館山山麓で不幸にも旧秋田藩士田崎秀親の刃に倒れ三十一歳の若い命を失った。田崎は二十三歳、神道に心酔した狂信的排外思想の持ち主で特にハーバーを狙ったのではなく、ただ外国人を殺す目的で函館に来たという。

日本政府は賠償を申し出たが、ハーバー家は「お金では死は償えぬ」と申し出を断り幸い大事には至らなかった。

大正七年にノーベル賞を受けたフリッツ・ハーバーは大正十三年に来日し^[14]、叔父ルードウィヒの遭難五十周年に当たり函館市が主催した遭難記念碑除幕式に夫人と共に参列した。記念碑は函館山観光道路下り道が函館公園にぶつかる所にある。

フリッツ・ハーバーは帰国後記念回想のためにと、叔父領事の写真とマイヤーのドイツ古典文学全集三十六部百五十冊にいちいち自筆サインをして函館市に寄贈した。これらの本は遭難地点近くにある函館図書館に保管されている。

昭和三十九年の九十年記念会にはハーバー先生の従兄弟の子である在米実業家ルードルフ・H・ハーバーも参列した。

西村先生が転載しておられる Goran の “The Story of Fritz Haber” からの一節をここでも転載しておく。（綴等は原文のまま）

「Haber's interest in Japan had been aroused fifty years earlier by his

Uncle Ludwig, the youngest of his father's brothers, who had been the first German consul to the country. At the age of thirty-two, Ludwig Haber had been murdered by Hidichika Tasaki, a fanatical samurai; these soldiers, serving war lords, opposed foreign influences. The Japanese government had offered compensation for the death, but the Haber family had refused the money because, they said, wealth could not substitute for the deceased. During Fritz Haber's visit, a memorial service for his uncle was held at Hakodate on the Yezo River, north of Tokyo.]

4. 海水から金を採る夢 (西村雅吉^[15])

フリッツ・ハーバー先生は空気中の窒素からアンモニア，ひいては窒素肥料を作る方法を確認するなど1918年(大正7年)にノーベル化学賞を受けた優れた化学者で，第一次世界大戦に敗れ課せられた莫大な賠償金の支払いに当てるとして海水から金を採取することを計画した。当時の文献から海洋の金濃度を約 $5\mu\text{g/l}$ と想定し実験を行い，たとえ $1\mu\text{g/l}$ の濃度であっても経済的に金の採取ができると結論した。

金採取船をひそかに大西洋に出して採取を試みたが金は殆どゼロであった。計画失敗の原因究明に乗り出し，海水中の金濃度は推定値よりもっと低いのではないかと濃度の再定量を開始した。使用する試薬，器具，実験室の埃などからくるコンタミに注意をすればするほど，海水中から得られる金の濃度が下がって行き，ついに当時の文献値の1,000分の1， $0.004\mu\text{g/l}$ が海水中の金濃度であるとの結論に到達した。

当時の文献値も，ハーバー先生が海水から採取したとした金も，海水中にあったのではなく実験途中で他から混入したコンタミの金であったのである。

しかし，分析技術が現在のように進んでいなかった約60年前に，ハーバー先生が現在の金の定量値とほとんど変らぬ分析値を得ておられたことは驚くべきことである。

5. 海水中の金の物語 (奥野久輝^[16])

フリッツ・ハーバーのアンモニア合成工業が一方では戦場への弾薬を，一方では銃後国民に肥料を通じて食糧を供給し五カ年に亘る

戦争を可能にしたと言われている。

西部戦線に瓦斯戦が登場するや彼は斬新有効な毒瓦斯製造に、瓦斯部隊の教育に、さらに防毒マスクの考案、その他軍需資材の整備管理等攻防両面に縦横の鬼才を発揮し八面六臂の奮闘を続けて来た。

ドイツ敗戦後、英仏新聞紙は彼を戦争犯人、人類の敵と非難し、和平交渉の席では身柄の引き渡し要求までされる程であった。

大戦中に妻を失い共同研究者を瓦斯実験で犠牲にした心の痛手、五カ年間の緊張と過労による肉体的衰弱のため再起不能の人のように見られた。

愛する Kaiser-Wilhelm Institut 再建に立ち上がり事業が漸く軌道に乗って来た時、インフレーションが襲った。計画の一部放棄と縮小を余儀無くされただけでなく、連合国が課した金にて支払うべき 1320 億マルクという膨大な賠償によって全ドイツ国民の生活が根底から破壊された。

ハーバーは再び奮起し彼の力で賠償金を支払い国民の窮乏を救わんと決意した。金を直接獲るため未開発の金の鉱床、海洋に注目した。当時 Arrhenius^[17]の推算では全海洋中に含まれる金の総量は 80 億トン、1320 億マルクの金はドイツ国民にとっては無限大を意味するがハーバーはこれを金 5 万トンとし、これは海水中の金の 16 万分の 1 に過ぎない。ハーバーは海洋から金を採取する計画を立てた。

ハーバーは文献から海水 1 トンにつき金 5-10mg 程度が含まれているとした。適当な抽出法が見付かれば充分見込みがある。しかし、講和会議の結果、海運の便は殆ど奪われていた。従って、自由に大海に出て海水を採取することはできず、研究も秘密裏にせねばならなかった。

1920 年十数人の有能な共同研究者が集められた。先ず、人工海水 1 トン当たり 5mg の金を塩化金酸塩としたものを加え資料とした。その頃は海水中の金は塩化第二金酸塩として溶け込んでいるとされていた。

一方海水から金を採るパテントが既に 1893 年に始まって数十件公にされていた。ハーバーは検討したが試みるまでもなく利用できるものはなかった。研究の結果、適当な補助沈澱を生成させこの沈澱粒子に還元された金を捕捉させればよい事を知った。但しこの補助沈澱は極少量でも完全に金を捕捉するものであることが要求された。

彼が採用した方法は人工海水 1 トン当たり多硫化アルカリ 0.4-0.8g の割合で加えると海水中の炭酸瓦斯の為に多硫化アルカリは分

解し硫黄を遊離する。この硫黄が金を吸着捕捉して沈澱する。濾過層を通し金を濃縮物として取り出す。人工海水1トン当たり金5mgを加えた資料でのテストの結果、金は完全に回収された。また、少量ながら入手した天然海水に適用して行った結果、従来の研究者達の値とほぼ一致する値を示した。

1923年実験室と抽出装置を設備した採集船が用意されハーバーと四人の研究者を乗せハンブルグを出帆、大西洋に出ていった。現実手にした金は予想量より遥かに少ない量であった。抽出作業に欠陥はない、分析の過失でもない。彼は過去の文献値に疑問を抱いた。真の金含有量を確かめねばならぬと決心した。

1924年ハーバーは改めて世界各所の海水を組織的に採集し、一方分析方法を徹底的に検討した。1トン当たり数百或は数千分の一ミリグラムという極微量の場合、従来の方法では100%以上の金回収率を示した。これは金が外部から混入していたことを意味する。分析方法の改良と金の混入除去に精力を注いだ結果、初期の目的だった海水から金を獲る夢は壊された。確かめられた金含有量は最初の予想値の千分の一、1トン当たり0.005mg^[18]だった。

ここからの記述は、浅田先生も習得されたであろうハーバー先生が到達された化学的分析方法の概要である。一見何でも無い様な小さい操作にも、それを最善と確定するまでには甚大な努力が払われている、と奥野先生は書いている。

2立の瓶に採取された資料海水は採集から分析までに日時が経過する。海水中の微生物が資料瓶内壁に付着し薄い粘液層を形成しその中に貴金属を包蔵するようになる。この有機物層中の金は簡単な洗滌では除去できない。資料瓶内壁に予め硫化鉛鏡^[19]を作っておき、海水中の貴金属をこの鏡層で捕らえ後に鏡層を溶解する。鏡層を作っている間に硝子中の金等がアルカリ溶液により層中に浸出する可能性があるため、別に鏡層を作らない瓶に海水を採取し直ちに酢酸鉛と硫化アルカリ少量を加え硫化鉛の沈澱をつくらせる。

研究室に送られた資料には先ず100mgの酢酸鉛の溶液と硫化アンモンを加え二日間放置し完全に沈澱させる。

次に沈澱の分離だが、器の数を最小の数にする。濾紙は濾過面に直接手が触れるから使わない。エナ硝子製吸引濾斗の脚を資料瓶の底に届く程長くし、これで瓶内からポンプで静かにできるだけ完全に上澄液を吸出し沈澱のみ瓶内に残す。濾斗は普通の使用と逆方向に使うことになる。

吸出した上澄液に酢酸鉛と硫化アンモンを加え硫化鉛の沈澱を作る。上澄液の処理は蒸発乾固灼熱して残滓を塩酸と臭素で溶かしこの溶液から前同様硫化鉛の沈澱を作る。両方の処理をした上澄液に貴金属がないことを確かめる。

次に資料瓶内の沈澱を溶かす為、先の硝子濾斗の上口から約 4cc の発煙臭化水素酸を注ぎ入れる。瓶内には極く弱い乳状液ができる。清浄な空気を送って瓶内に発生した硫化水素を追い払う。再び濾斗を通して約 4cc 発煙硝酸を注ぎ貴金属を完全に溶解させ瓶を振盪しつつ 60° に放置、臭化水素酸及び硝酸の大部分を分解、発生した酸化窒素及び臭素を追い出す。これで資料海水中の金銀は全部濃縮された溶液になった訳である。

分析は、資料瓶内の溶液を中和し第二の 100cc 余りの器に移し、再び硫化アンモンにより金銀を鉛の硫化物と共に沈澱させ、器の口まで一杯に水を満たす。之と同じく水を満たした素焼磁製坩堝上に倒立した状態のままの姿勢で遠心分離器にかけ沈澱を坩堝内に移し、蒸発乾燥後水素又は蟻酸鉛で還元し硼酸を加えて熔融し重さ約 5mg の小鉛錠とする。この小鉛錠は器底の特に薄い素焼磁製皿に入れ空気中で小焰で加熱、急冷して残留する金銀粒を顕微鏡下で大きさを測定する。次いで少量の硼砂を加え 2 分間 1050-1100° に熱すると銀はすっかり失われて金のみが美しい丸い小粒として残留する。最後にブロムナフタリン中に浸して顕微鏡下で大きさを再度測定し定量を終える。

この方法は熟練者の手で行えば驚くべき正確な結果を与えと言われる。

実際に分析された海水の資料は探険船メテオール号が南大西洋を横断して採集した千数百に上る。金の分布は場所により大きく相違し、同一場所でも日に依り時により相当に含有量は変化する。金と銀の比も著しく不規則である。

ハーバー先生の初めの目的は達せられなかったが、海洋学において重要な貢献をなし、分析化学上の技術的進歩を齎し微量成分定量の代表的一例として様々な示唆を与えるものとなった。

奥野先生はその記述の最後に日本での研究に触れ、理研の安田又一さんも登場する。

その記述は、昭和十四年十二月号の日本化学会誌に京都帝国大学の石橋雅義、品川睦明両氏が和歌山県瀬戸湾付近の表面海水について得た値を発表している。結果はハーバー先生の値と略同じである。これより先、1927年には安田又一さんの研究があり分

析方法の一つとして面白い着想で、近頃（昭和十五年頃）アメリカでこれと似た分析法が提唱されている。

(15.3.11.)

6. 柴田雄次先生とハーバー先生とのやりとり（田中実^[20]）

柴田雄次先生の回想。

万国化学協会総会に出席するため門下生長井長義の息子維理その他7, 8名と共に1930年6月下旬日本を発ちシベリア経由でヨーロッパへ向った。モスクワで列車を乗り換えベルリンに着いたのは7月半ばであった。

ベルリンでは留学中の永廻(ナガサコ)登（東大化学科昭和2年卒、鮫島実三郎門下、後に東京工大教授）の案内でカイザー・ウィルヘルム研究所にフリッツ・ハーバー教授を訪問した。目的は「かつて来朝した時（大正13年）、東京大学でも幾多の講演^[14]を行い多少の顔見知りにもなっていたし、今回の万国化学協会総会で愈々独逸の加入問題が解決されると聞いて来てもいるので敬意を表しておく必要と考えての訪問」である。

ハーバー先生は愛想よく迎えてくれたが、総会出席のおもむきを話したところハーバー先生の反応は意外であった。極めて皮肉たっぷりに「フーム、ユニオンは誠におかしい」と言った。ハーバー先生の不機嫌は、独逸のユニオン加入に日本が反対していると誤認されているのが原因であった。独逸化学界の大親分から半ば威嚇的な言辞を浴びせられた柴田先生はその原因の一つが1920年12月のシェフェニンゲン会議への日本の参加棄権にあることに気付いた。ハーバー先生に「日本は絶対に独逸のユニオン加入に邪魔をしていない、日本を出る時与えられた指令にも独逸加入賛成のことがあった。今、先生の言われたことには何か大きな誤解があると思う」と答えた。

しかし、ハーバー先生は反駁して独逸がユニオンのシェフェニンゲン会議で要請したのは、独逸のユニオン加入について上部機関である万国学術会議（第一次大戦末期にイギリスの呼び掛けで独逸とその同盟国を除外して成立した）から、なんらの制約を受けないように、定款を改正することであった。会議参加者全員この要請に賛成したので、独逸はあらためてユニオンの全参加国に賛否を問い合わせたところ、ほとんどの参加国から賛成の回答があったのに日本からは回答がないと言われた。

ユニオン総会の月まで時間があるから日本へ手紙を出して改定

賛成の公式回答を得られることは容易と答えた。

ハーバー先生は「全定款中ただ 6 字の改訂である」と言って定款条文を指して改訂の個所と理由を説明された。その重点と思われるのは「ユニオンに加入を希望する国あるときは中央学術協会の承認を要するとあるのを、ユニオンではこれを自治的に処理し、中央にはただ通告すればよい」ということであった。

これは要するに独逸なくして何が万国化学協会ぞやというハーバー先生の矜持から文言改訂も彼等の面子問題に外ならないということであった。

ハーバー先生がとられた甚だ穏やかでない政治家的態度が癪にさわったので、研究室を案内したいという申し出を断り食事への招待も断った。

ホテルに戻ると直ぐに桜井錠二と松原行一へ手紙を書きユニオン定款改訂に賛成の公式手続を依頼した。シベリア鉄道経由の郵便は一ヶ月以内に往復できるので 9 月の総会には充分間にあうはずであった。

7. 大阪大学理学部創立当時の思出（浅田常三郎^[21]）

大正 12 年(1923) 4 月東京帝国大学理学部物理学科三年生になった私は、長岡半太郎先生の研究室に入ることを許され、講義は本郷の理学部で、研究実験は駒込の財団法人理化学研究所の長岡研究室でする事になりました。同年 9 月の関東大震災では、実験室はひどい損害を蒙りました。翌 13 年 3 月大学卒業後は、長岡先生の助手として理研に奉職しました。

15 年(1926)先生から「大阪に塩見理化学研究所があり、将来大阪に国立大学理学部が出来るとの予定であり塩見研究所がその核になる事になる。その研究所の清水武雄研究員は、塩見の費用で英国に留学して帰朝しているが、今回東京帝国大学教授としてお迎えする事になったので、その後任になる人を文部省の在外研究員として二年間文部省の費用で留学させ、帰朝後は塩見研究所の研究員にする。浅田をその適任者として推薦してあるから。」とのお話でした。これが私と大阪大学理学部の前身との関係が出来た最初です。

塩見理化学研究所は、塩見政次氏の個人寄附で出来た財団法人である。塩見氏は、大阪府立医科大学卒業の医師であったが、欧州戦争中に金属亜鉛の精錬で成功、産をなされた。大正 7 年病気にて臨終に際し、恩師佐多愛彦先生に遺言の形にて、私財

の1/2を寄附し、大阪に官立の大学の設立と、その財団による研究所をその大学の理学部の核とする事を希望された。寄附は亜鉛会社の株券で時価100万円相当であったが戦後の不況のため株券を売却した時現金は100万円を若干下廻っていたので現金を預金し、その利子の一部で塩見理化学研究所の研究員を海外に留学させ、利子の残部を積立て元利合計100万円に達してから、研究所の建物の建築に着手することになった。研究所の人事は

財団法人理事長		佐	多	愛	彦
所長	数	学	小	倉	金之助
研究員	理論物理	岡	谷	辰	治 トキハル
〃	実験物理	清	水	武	雄
〃	生化学	近	野	氏	

近野氏は、ドイツ留学中ケルンで物故せられたので、古武彌四郎教授が兼任せられ、中島氏が古武教授に代って研究に従事することになった。

大正15年大阪市北区堂島濱通四丁目に鉄筋コンクリート四階建延400坪の研究所の建設に着手し翌年竣工し、数・物・化の研究に着手した。

浅田は、清水研究員の後任とし、昭和元年(1926)3月神戸出帆諏訪丸でドイツ留学の途につき、佐多理事長の紹介で Berlin-Dahlem の Kaiser Wilhelm Institut für physikalische und elektrochemie の所長 Geheimrat Fritz Haber の許で研究する事になった。

Haber は空中窒素固定の発明者である。

空気中の窒素から硝酸化合物の合成に成功、その工業化をも確立したのでドイツの皇帝 Kaiser Wilhelm が智利から智利硝石の輸入が封鎖せられても、爆薬の国内製産* が可能となったので第一次欧州戦争に踏み切ったとの噂もあった。ドイツは敗戦後莫大な賠償金を支払う必要を生じたが、Haber は海水中に溶解している金を集めてその財源とするとの構想の下に大規模な研究を実施した。浅田が留学したのは、この研究の末期の頃である。Haber の実験は結果的には成功しなかったが、研究態度に大いに学ぶ所があるので御紹介する。

海水1ℓ中に金が 10^{-7} g含まれていると信じられており、度重なる実験の結果もその存在を確認せられるような結果を得ていた。その微量の金を経済的に集めることが研究の目的である。Berlin-Dahlem は海岸より相当離れているので研究所三階に大型の水槽

を置き、海水と成分を同一にした人工海水を充たし、その中に金 $10^{-7}g$ が 1ℓ の水中に含まれる様に調整し、太い硝子管で階下の実験室に配水し、この金を経済的に採集する研究が実施せられた。方法は蟻酸鉛の稀溶液を人工海水に加え、次に硫化アンモニアを加えると硫化鉛の沈澱が出来、金は全部この沈澱した硫化鉛の中に共沈する。この沈澱物を集め乾燥後直径 1 cm の素焼の蒸発血中で硼酸と共に強熱し、上部より徐々に酸素を通ずると鉛は酸化鉛となり硼酸と共に融して透明な硝子状になり、最後に金は球状の塊として残る。 $10^{-7}g$ 程度の小粒であるので 15 倍の立体顕微鏡の下で実験する。木綿針を折ってのみ状に削ったもので、この金の小粒を切り出し、鉛ガラスと同じ屈折率をもつカーネーション油の中に沈め、顕微鏡下で直径を測定して金の重量を計算する。鉛の使用は工業的には高価になるので鉄の共沈により採集せられた金は価格的には $1/2$ は利益になるとの結果が得られた。

Hamburg 郊外に実験工場を建設したが海水中に砂の混入が多くその除去が困難であった。海洋気象観測船 Meteor 号の船上に工場を作り、砂などの混入の無い大西洋上で実験したが、金は少しも得られなかった。Haber はこの間違の原因がどこに存在するかを検討し実験を繰り返した。

化学的最純粋と称される硝酸や硫酸は硝子瓶中に保存せられている。硝子の主成分の石英は金鉱の bed になるもので石英には極めて微量の金を含んでいるかもしれない。硝子瓶中の酸には、この微量の金をとがしている心配がある。特殊な方法で完全に金を含まない試薬などを使用し、大洋の海水を金がとけ出さぬ様にした硝子の一升瓶で集めてその海水中の金を分析したら、 1ℓ 中に $10^{-10}g$ 程度しか含んでいない。最初の想定 $10^{-7}g$ に比し、実際はその 1000 分の 1 しか無かったのである。Haber がこの原因究明のために捧げた努力は物凄いものであり、科学者の真剣な態度は阪大理学部の中に生き続けていると信じている。

浅田は、昭和 4 年(1929)末に帰朝して新装成った塩見理化学研究所の研究員を拝命した。

一年後千谷利三氏が化学の研究員となり、さらに一年程おくれて佐多直康氏が膠質化学の研究員になった。

小倉金之助研究員の下に竹中暁研究員が石橋の浪速高等学校の一室で数学の研究を続けていた。

昭和 5 年(1930)柴田大阪府知事、関大阪市長、田中文相、楠本大阪府立医科大学長、その他多数の有力者の尽力により、1930 年 5 月大阪府立医科大学の官立移管と理学部設立の方針が決定したがその法制化に若干の時日を要した。1931 年 3 月閣議決

定、衆議院及び貴族院通過が1931年3月25日であった。

これより先に長岡半太郎先生が大阪帝国大学の初代総長の内定があり、先生は単身で来阪、医科大学記念館に起居され、その間に阪大創立の構想を練られ、理学部建設の建物の草案などを岡谷、浅田兩名がお手伝いした。先生は、医科大学庶務課の能筆の書記について書道を修められた。先生筆の(故人の)「糟粕を嘗むる勿れ」**の額が阪大中之島図書館閲覧室に掲げられている。先生の雅号は楽水。河童学究・長岡半印がおされている。先生は澤山の筆蹟を残されており、浅田も光風の額を頂いている。

先生は、三浦半島下浦(シタウラ)の海岸に蜜柑畑のついた広い別荘を所有され、そこに茅葺きの漁夫の家、平家一室の古風な建物があり、休暇には先生は子供たちを連れてよく来られた。浅田も三度先生のお伴をしてその別荘に数日づつ泊めて頂いた事がある。蜜柑山の中に大きい石のテーブルがあり夏の月夜はそこで涼納をした。

1930年夏長岡先生の構想になる大阪帝大理学部の教授候補者がこの石のテーブルの周囲に座り、長岡先生から理学部に対する希望や注意を承った。

参集した教授予定者は

数	清南正功	水雲田力	辰道健金	次郎次郎	
	八木秀次	岡谷辰治	浅田常三	菊池正士	×
物	友真仁	近島利行	小竹無二	赤堀四郎	×
	榎田龍太郎				×

×印は物故者

この下浦の別荘は最近昔のままの形で中央に大黒柱があり屋根は茅の形に加工した上に厚く銅メッキした不銹鋼の屋根のついた76m²鉄筋コンクリートの建物に改築せられ、敷地1,000m²と共に

長岡半太郎記念館として長岡先生遺族と京浜急行電鉄から横須賀市に寄贈された。

場所は、横須賀市長沢字長岡 750 京浜急行長沢駅下車、海岸に向って約 1 Km. 東京湾に面し約 10 m の高さの台地であり、海岸との間に三浦半島東岸に伸びる広い道路がある。記念館の向い側海岸に若山牧水の歌碑がある。

1981 年 9 月 4 日は記念館の竣工式兼横須賀市への寄贈の式典が行われた。

横須賀市長	横 山 和 夫
長岡家代表	長 岡 振 吉
京浜急行電鉄社長	飯 田 道 雄

たち関係者で長岡先生を偲びつつ楽しく語り合った。長岡振吉さんは先生が一番下の息子さんであり、兄・姉たちは全部他界せられた。浅田が先生のお伴をして下浦の宅に伺った頃は、振吉さんは中学生だったと思う。石のテーブルは現存しており阪大創立の準備時代を思い出させるよい記念物である。

1931 年 3 月 25 日大阪帝大創立の議案が貴衆両院を通過したので官制も公布され、5 月 1 日中之島中央公会堂にて長岡初代総長、楠本医学部長、柴田知事、関市長、田中文相たち列席で開学式が挙行された。

大阪府立医科大学が、大阪帝国大学医学部となり新設の理学部と共に二学部よりなる総合大学として大阪帝国大学が発出し、翌年 4 月国立大阪工業大学が工学部として大阪帝大に参加した。

理学部創立に対する経費は、府立医科大学が国立に移管されるため政府に納めていた供託金 100 万円が返還されたのと、塩見理化学研究所基金からの 40 万円の寄附により賄われた。理学部敷地は、府立大学病院が数年前火災で焼失して空地となっていた 3,000 坪を府より寄附を受けた。この経過は、中之島旧理学部玄関に約 $100 \times 60 \text{ cm}^2$ の青銅の鋳物に記載して埋め込んであり、その写真は、写真による大阪大学 50 年誌に掲載されている。

理学部教授の発令は、最初真島、小竹、仁田、清水、八木、岡谷の 6 名であり、浅田は助教授であった。澤田昌雄講師、奥田毅助手、林龍雄助手が発令された。

理学部第一回生が 1932 年 4 月より入学し、医学部新入学生と共に行われた入学宣誓式には、長岡総長がケンブリッジ大学名誉博士の緋色のガウンを着て新入学生一人一人に握手をされた。学生たちは甚だしい感激を受けた。

理学部の講義は、医学部の教室を借用し、実験は、塩見理化学

研究所と医学部の一部を借用した。物理学教室は医学部長崎教授の研究室の一部をお借りした。

物理学教室には順次に、渡瀬譲、岡小天、伏見康治、京大より湯川秀樹さらにおくれて岡部金次郎たちの新進気鋭の諸氏を加えて順次に充足していった。

八木教授は、初代物理学教室主任であった。最初は、東北大学と兼任であり、時々大阪に来られた。創立当時に物理学教室職員と新入の物理学科学生を集めて次の様なお話をされ聴講者一同に深い感銘を与えられた。

動物園には、鼻の長いもの、首の長いもの、脚の長いものなど珍しい形の動物が居るので多くの観衆が楽しく見物に行く。もし、平凡な動物だけを集めても誰も見に行かない。理学部も、動物園のような事が望ましい。一技一能に長じた人達の集団であってほしい。世間の噂を気にしないで、自分の専門に精進すべきだ。

例えば、上衣の胸のポケットが右側についていても左側についていてもそんな事は問題でない。丁度そのとき澤田さんの上衣のポケットが右側についていた。澤田さんの父は、河内狭山藩の藩士であり、藩主から頂いた立派な英国製洋服を拝領し、その生地が優秀であるので、それを裏返しに仕立直して澤田さんが着用していられたのである。また、岡谷教授は、変形誤差函数の数値計算を、当時最高級のモンローの電動計算機を使って計算していられた。八木先生の講評は、研究者は単調な計算などに精力を集注すべきでない。いまに計算機人形が出来るだろう。ロボットの名称は当時まだ無かった。微分方程式の紙をその人形の口へ押し込むとその答が腹から出てくるだろう。また面倒な数値計算でもその人形の口に差し出すと、その答が即刻腹から出てくる様になると思う。当時は、半導体の発見以前の事であり、電子計算機など夢想もできぬ頃に将来そんな装置の開発を予言せられた事は敬服の至りである。

理学部新校舎は、1931年起工、地下室を含めて四階の鉄筋コンクリート延3000坪で将来六階まで増築可能な構造である。建設費42万円、実験用電気配線などの費用は、別計算である。

受電は、3300Vの高圧で受け、220V及び110Vの交流を各実験室に送るため変圧器6台100V、200Aの直流発電機、480AH鉛蓄電池合計100槽、その他変電室諸設備が2万円で出来た。配電線は、物理側には100V3φAC、200V3φAC、100VDC発電機より、100VDC電池より、及び配電室より任意の電圧を送電可能な二線式予備ケーブル3組、接地線を夫々60Aを流し得る太さの配線を各実験室に設備した。銅線の費用だけで14万

円である。

中之島の理学部建物を政府に返却し、豊中地区に理学部が移転した後は管理されていないので窓ガラスは殆んど全部破られ、太い配電線も切断盗み去られた由である。

理学部、医学部の二学部で発足した大阪大学が、吹田、豊中、中之島の三地区で日本の第一級の大学に発展し、研究と育英に国家に大きい貢献をしていることは歴代の総長先生たちの御苦心と各学部、附置研の教授及び職員の諸先生たちの御努力の結晶であり、50年以前を回顧し感慨無量である。

大阪大学の益々の発展を期待し、名誉教授及び関係職員の御健康、御多幸をお祈りして筆をおきます。

* 原文のまま。

** 古人(故人)の糟粕を嘗むる勿れ：コジンのソウハクをなむるナカレ
糟粕：「酒のかす」昔の人の作った物の形をまねるな、(独創を出すこと。)

8. 謝辞

浅田先生に関する資料の送付を快諾された今は亡き仁科記念財団理事鎌田甲一さんに感謝し御冥福を祈ります。更に資料送付に際し福井を信頼されその提供を許可された玉木英彦先生の御信頼と御好意を受けたこと、そしてこの報告への掲載を快諾されたことに心より御礼致します。また、北野康さんには北大理学部化学分析化学教室の先輩から数々の資料を入手して下さった御好意とその労に対し厚く感謝します。阪大物理の級友で浅田研究室員だった古田純一郎さんが浅田先生追悼文集と「思出」を送ってこられた親切に感謝します。最後に長岡先生の文献の幾つかを入手する煩雑な作業をして下さった物理図書室司書戸床トシ子さんの御努力に感謝します。

9. 註

[1] 北村行孝 読売新聞社論説委員会委員。現在は科学部部長。1999年(平成11年)7月、『エノラ・ゲイ』に書かれている浅田先生に関する記述の真偽について質問を受けた。当時は読売新聞社科学部。

[2] ゴードン・トマス、マックス・モーガン=ウィッツ著(松田銑

訳)『エノラ・ゲイ ドキュメント・原爆投下』ティビーエス・ブリタニカ, 1980年

Gordon Thomas & Max Morgan Witts, *Ruin From the Air - The Atomic Mission to Hiroshima* (London : Hamish Hamilton, 1977)

[3] 浅田会 『故浅田常三郎先生の思い出集(1)』1985年

浅田先生記録保存WG 『浅田常三郎先生 追憶文集』2002年

[4] 長岡先生は明治41年(1908年)より分光学の実験研究を始められ明治45年(1912年)12月15日に水銀スペクトルの構造についての研究論文を発表されている。

[5] 藤岡由夫監修, 板倉聖宣, 木村東作, 八木江里著『長岡半太郎伝』朝日新聞社, 1973年, 473-507頁

[6] Extensive Air Shower の構造を研究解析した西村・鎌田の理論で有名。鎌田甲一さんは平成17年4月24日に逝去された。

[7] 横山すみさんは仁科先生の秘書兼仁科研究室及び理研そして後の仁科記念財団の事務総まとめ役をされた生き字引のような貴重な存在であった。平成10年11月8日に逝去された。

[8] 北野康: 北海道帝国大学理学部 1947年卒。1963年名古屋大学水圏科学研究所教授, 所長, 1986年定年退官, 名古屋大学名誉教授。椋山女学園大学人間関係学部教授, 学長, 1993年退職, 椋山女学園大学名誉教授。

[9] A. Miethe, "Der Zerfall des Quecksilberatoms," *Naturwissenschaften*, 12(1924), 597-598.

[11] Rubin glass 英語では Ruby glass, ドイツ語では Rubinglas と書く。金, 銀, 銅, セレン等がガラス中にコロイド状に分散して紅色に着色したもの。金のルビーガラスはドイツの化学者 Johan Kunckel (1638-1703) が発見した。

[12] 『長岡半太郎伝』500頁

菊池正士「実験者の立場から」『原子核・宇宙線の実験 -素粒子論の研究IV-』岩波書店, 1945年, 1-6頁

[13] 西村雅吉「函館とハーバー」北海道大学理学部化学科同窓会誌『るつぽ』第19巻, 昭和46年(1971年), 26-27頁の抄記。

Morris Goran, *The Story of Fritz Haber* (University of Oklahoma Press, Norman, 1967)

[14] 星一(ハジメ)が招待した。東大での講演は後にハーバー自身が著した

Aus Leben und Beruf (1927), 田丸節郎訳『ハーバー博士講演集-国家と学術の研究』岩波書店, 1931年(昭和6年)におさめられている。

当時の新聞報道では、例えば、時事新報 1924.10.30.(大正 13) が「長岡博士が公衆のお目に掛ける水銀から金への道行実験、折も折博士の好敵手ハーバー博士の来朝」という見出しで、「水銀を金にする法を発見し世界の学界に一大波紋を投げた理化学研究所の長岡半太郎博士は、十一月一日から三日間『水銀を変じて金となす道行』を一般に公開することになった。…… 時も時明日リンコン号で来朝するハーバー博士は滞京中、理化学研究所を訪問する事になっているが、ハーバー博士は出発前独逸でミイテ教授の発見に対して『可否は言えぬ』と暗に疑いを持っていることを発表した。…… 長岡博士は『ハーバー博士とは一面識がある。…… 悦んで発見に至る経路学理を説明する積りだが、外国には発表していないからハーバー博士は何も知らぬだろう』と。ハーバー博士の疑問を長岡博士の説明で解く事が出来るかどうか、学界の一大興味と見られている」という記事を書いている。

一般公開については『長岡半太郎伝』482 頁 に記載し 489 頁で上記の時事新報の報道にふれているが長岡先生がハーバー博士と話されたかどうかの記述はない。

[15] 西村雅吉『環境化学』裳華房,1991年,64頁の抄記。

[16] 奥野久輝「海水中の金の物語」北海道化学協会会報第二十二号別冊(1940年6月),20-30頁の抄記。

[17] Svante August Arrhenius (1859.2.19 - 1927.2.27.) スウェーデンの化学者,天文学者。ウプサラ大学に学び卒業論文は有名な電離説(1883年)。(電離説:電解質溶液の電離は電流の通過と否とに係らず常に予め一定の電離度を以って現れると仮定し,電流は単にこの電離イオンを運ぶ役目をなすことを示した。)1895年ストックホルム大学教授,1905年ノベル協会物理化学部長,オストヴァルトと共に物理化学の創設に尽力。1903年電解質溶液の理論に関する研究でノーベル化学賞を受ける。

[18] 昭和十五年(1940年)の時点で最も標準的として認められている海水中の金含有値である。

[19] 硫化鉛鏡を作るには瓶に酢酸鉛と水酸化ナトリウムの溶液を入れ之にチオ尿素の溶液を加え放置しておく。この場合溶液のアルカリ性の為,瓶から硝子中の貴金属が鏡層中に浸出する懼れがある。実際には硫化鉛鏡を作らない瓶との両方を使用した。

[20] 田中実『日本の化学と柴田雄次』大日本図書,1975年,227-230頁

[21] 浅田常三郎『大阪大学理学部創立当時の思出』投稿先不明,1980年? 全記述の再掲載。

**Doctors Tsunesaburo ASADA, Hantaro NAGAOKA,
and Fritz HABER : Their Strict Attitude on Research on Gold and
Some Personal Relations**

FUKUI, Shuji

Professor Emeritus of Physics, Nagoya University

Abstract:

Strict attitude on research works on gold and some personal relations of Tsunesaburo Asada (1900.7.18–1984.3.7.), Hantaro Nagaoka (1865.8.15–1950.12.11.), and Fritz Haber (1868.12.9–1934.1.29.) are presented. Dr. Nagaoka had analyzed hyperfine structures of atomic spectra of mercury for over ten years since 1908. On September 18, 1924 he had made public that he had been able to transmute mercury into gold by the process of electrical discharge in mercury vapor. Immediately after Nagaoka's announcement Dr. Asada, at that time a research associate at the Institute of Physical and Chemical Research, had been asked to perform an experiment confirming this transmutation. On June 23, 1983 Dr. Asada had described the detail of his experiment in a letter to Ms. Sumi Yokoyama, a secretary of Nishina Memorial Foundation, added that he had worked at Dr. Haber's Laboratory to attain chemical technique of microanalysis and of detection of super low quantity of gold in the period starting from February 15, 1926 for two years. Dr. Haber was the director of the Kaiser Wilhelm Institut für Physikalische und Elektrochemie at Berlin-Dahlem. Dr. Haber had worked very hard intending to collect the gold from the sea water, because Germany had to pay very heavy indemnity of 132 thousand million Marks. His efforts were not rewarded, only he had collected a thousandth of the quantity of gold listed in the data. He had concluded that the quantity of gold collected was a contamination coming from other than the sea water. However, his works had contributed the research of the oceanography. Drs. Nishimura and Okuno of Hokkaido University described Dr. Haber's research works in their books. Dr. Nishimura wrote a brief story of Ludwig Haber, Fritz's uncle, who was the first German consul at Hakodate and murdered by a fanatical *samurai* on August 11, 1875. Dr. Shibata wrote the memoir of his visit to Dr. Haber's office on July 1930. In this report these documents are shown in the abridged form. Dr. Asada wrote his memoir concerning Dr. Nagaoka who had planned the foundation of Osaka Imperial University in 1930 and designed the construction of Department of Physics. Here Dr. Asada's memoir is reproduced.

2005 年度 博士・修士論文梗概

2005 年度提出博士論文

明治期における技術者の分析
—近代技術確立をめぐる職人と職人的技術者—

恒川清爾

コンピュータにおける GUI 発展過程に関する研究

姜波

2005 年度提出修士論文

矛盾許容型論理 PCL2 の研究

斉田泰伸

The Study on Elementary Protothetic

董遠

1930 年代のナチスドイツにおける数学の正当化
—数学教育の観点から—

宮本英司

明治期における技術者の分析

—近代技術確立をめぐる職人と職人的技術者—

木本研究室 恒川清爾

序章 課題の設定

現在の日本は、技術立国として大きく発展している。その基礎を作ったのは明治期の技術者たちであった。明治初期の外国人技術者の帰国後、日本人自身によって多くの分野で日本の技術を確立していった。その技術者たちは、如何なる人たちであったか、彼らの貢献と日本の技術はいかなる関係にあったのであろうか。本論文は、明治期における主要技術分野の技術者を掘り起こすとともに、彼らの受けた教育、出自、および環境を分析することによって、明治期の技術者たちの特徴を明らかにしようとするものである。

従来の研究では、明治期近代技術を導入し支えたのは、まずお雇い外国人技術者、外国人教師らの教えを受けた工部大学校教授と、それに続く高等教育を受けた人たちであると云うものであった。しかし、ここでは初期の技術者や伝統的職人たちは取り上げられていない。また、技術者については、内田星美、沢井実、鈴木淳らによって分析されている。しかし、これ等は、技術史的視点からの分析は充分ではない。また、その後の日本発展の技術基盤を作り上げた現場の技術者についての分析も充分とはいえない。

技術者教育については、技術教育機関の整備状況や、教育内容が、工部大学校を中心として詳しく研究されている。しかし、東京大学と合併し帝国大学となった後までの実際の技術者教育と同時期の西欧の技術者教育の内容との違いまでは検討されておらず、技術者教育の日本的特徴の解明は充分できているとは言いがたい。

技術者論についても、産業発達の基礎となる日本の技術を直接確立した明治期の技術者の全体像の分析は充分ではなく、また、技術者の出自と彼らの意識との関わりや、海外の技術者との比較からの、日本的技術者の特質や技術の特徴づけについても、研究課題を残している状況にある。

本論文では、これまで個々に分析されてきた技術者はもちろん、従来議論されてこなかった技術者を発掘し、彼らを産業や技術との関わり、教育、出自など、総合的に分析することで、明治期の技術者像を明らかにしようとするものである。また、そこから日本の技術の特徴をも見ようとする。

具体的には、土木技術、機械技術、電気技術の技術者を取り上げ、直接技術に関わる技術者に焦点を当てながら、技術者全体を明治時代の社会の中で分析した。また、彼らの受けた教育の内容を西欧と対比することによって、また、

出自からその意識を検討することによって、日本的技術者の特徴を明らかにした。

第1章 技術者の分析

1.1 土木技術者

明治期に推進された主な土木事業は、鉄道建設と灌漑、河川、港湾の建設改修であった。鉄道では、敷設と隧道、橋梁の設計・施工が主なものであった。

1.1.1 明治期前半土木技術を支えた技術者

明治初期からイギリス人技術者によって建設が開始されたが、その下で作業を行っていた日本人技術者には、長崎で測量や航海術などを学んだ小野友五郎らがいた。明治10(1877)年大阪鉄道局内に工技生養成所が作られ、国澤能長、武者満歌らがイギリス人技術者から鉄道建設のための基礎的技術を学んだ。その後の鉄道建設は、この工技生養成所出身者や技術見習生として新しく採用された人たちが主になって行った。大阪―神戸間の鉄道最初の隧道建設は、お雇い外国人の監督のもとに実施されたが、次いで起工された逢坂山隧道では、国澤能長が監督となり、新しく土木請負業を興した藤田伝三郎らの土木事業者のほか生野銀山の鉱夫によって、日本人だけで完成させた。藤田の下には幕藩時代に普請方として土木事業を行っていた土木作業の経験者を多くかかえていた。

鉄製の橋で最初に日本人技術者が設計に関わったのは、イギリス人技師の指導のもとに行った工技生養成所第1期生の三村周である。同第二期生の古川晴一も、イギリス人技師の助手をしながら教えを受け、橋梁の設計と図面作成を行っており、後に彼自身で設計をするようになっていく。当時日本人で橋梁設計した人は少なかったが、大学卒業者に混じって工技生養成所出身者も関わっていた。

鉄道建設工事を最初に請負ったのは、高島嘉右衛門、鹿島岩吉、藤田傳三郎らの殆ど新しく生まれた建設業者たちであった。彼らには初めは素人が多かったが、中には多くの専門集団を抱えている者もいた。たとえば幕藩時代に「黒鋏」と云われ、平素は道や川の普請を渡世とし、公儀普請の際は黒鋏同心に所属して土工に当る土木の設計施工技術を持った技術・技能集団がいた。藤田組には彼らが多く集まっていた。

明治初期灌漑や河川改修で活躍した土木技術者は、殆どが短期の実務教育や伝統的技術を持った土木官たちで、高等教育を受けてはいなかった。

土木局、鉄道局の学校出の職員の職位について、留学帰国または学校卒業年次で見ると、海外留学組は帰国当初から高い地位についていた。鉄道工技生養成所出身者は、大学卒業者と同等であった。学校を出ていないが、橋梁架設工事で多くを任された小川勝五郎らは大学出身者より高く評価されていた。小川ら大学を出ていない人たちも、それぞれの技術で(縁もあったと思われるが)評価されていたと言える。

土木事業の現場で工事を施工した高島嘉右衛門、藤田傳三郎や鹿島岩蔵らは、

幕藩時代の階級意識そのまま、低い地位としか見られていなかった。彼らの下には、幕藩時代からの専門の技術を持った「黒鍛」がいる場合もあり、土木の施工技術を支えていた。

1.1.2 明治半ば以降の技術者

明治半ば以降の鉄道建設では、高等教育を受けた人たちが監督官になっていた。これは、明治前半に比し鉄道建設技術が高度化したためではなかった。技術が定着し、行政官が監督官になることが出来るようになっていたのである。実務の施工技術は、工手学校卒業の工手や施工業者が支えていた。

隧道建設では、明治29(1896)年起工の笹子隧道を、工部大学校出身の古川半次郎が計画、監督したが、現場の技師は学士の小川東吾ら1~2名が1~2年で交代しており、実務は工手学校出身などの技手と下請け業者が担っていた。施工技術は施工業者の作業者が習得し、学士の監督官には実地を知らない未熟な技術者も多かったと言われている。

河川改修、築港事業については、海外に留学した古市公威や石黒五十二らが中心となっている。現場では学校を出ていない老練の属官や技手が主任となっていた。大学出の技師は本庁内にいた。学士が現場に出ることがあっても若い学士の実習的意味合いが強かった。

彼らの官職での地位を見てみると、明治後半になると帝国大学卒業の年次で決まる年功制が確立していた。橋梁設計の第一人者であっても、帝国大学出身でない人は同等には評価されなかった。鉄道工技生養成所出身者は評価されなくなった。現場の技術を支えた工手は、技師にはなれなくなっていた。施工業者は施工技術を支えていたが、前半期と同様全く評価されず、低い地位のままであった。

1.2 機械技術者

機械技術は近代技術の中核をなしている。この近代技術の導入に活躍した機械技術者はどのような人たちであったかを明らかにした。

1.2.1 明治期前半の機械技術者

明治新政府は、幕府や各藩の工場や施設を官収した。当初のこの工部省工作局の日本人技術者を見ると、海外で学んだ幹部と、経歴は一部しか明かでないが、長崎や横須賀造船所出身の機械技術の経験者たちであったと思われる。その中に工部大学校卒業の技師も多く入っており、若手の実習の場であった。

造船所では、横須賀製鉄所に伝習所が開設され、技術者教育が行われていた。この製鉄所の技術者を見ると、長崎のオランダ海軍派遣隊の伝習生であったり、幕府の海軍伝習所で訓練を受けた人たちが多かったと思われる。明治3(1870)年兵部司が作られ、長崎製鉄所から職工と、幕府が購入し長崎にあった機器を移して事業を開始した。ここで、海外で学んだ旧武士や職人が大砲や銃を設計、製造していた。

明治中頃、最大の工場であった工廠には、横須賀伝習所や工部大学校等の卒業生が参加し、経験を積んだ技官とともに技手として、大砲、小銃、船舶、機

関などの機械技術に取り組んでいた。

民間の長崎造船所では、三菱社が工部省より引き継いだ際には学校出の技術者は殆どおらず、後に工科大学、東京職工学校、東京工業学校卒業生が入社している。その他の造船所には、帝国大学や工部大学校出身者の他、学校を出ていない人たちがいた。また東京工業学校機械科出身者も入社してきている。大阪鉄工所では、伊豆戸田でロシア船を作った船大工らや、小野庄作のように横須賀、長崎造船所、赤羽工作分局、田中工場などを経て入った人がいた。彼は当時の典型的な機械技術者であったが、まとまった教育は受けていなかった。

民間で造船工場以外では、田中器械製造所が当時最も大きい工場であった。ここは明治始め工部省の依頼で電信機器を製造した田中久重の養子田中大吉が興した工場、電気機器を作っていた。他に三吉電機工場などの電気機械製造工場があった。これらは次章の電気技術者の項で詳しく述べる。その他にも中小の機械工場が多くあった。明治12(1879)年の『東京名工鑑』によると、鉄砲職などの伝統的鍛冶職人が西洋機器を模造して、西欧技術を獲得していた。

このように、明治前半で活躍した機械技術者は、幕末から鉄砲製造などの伝統的鍛冶職人や、造船所で外国人技術者の下で技術を学んだ人と新しく大学、工業学校で学んだ人たちであった。彼らは学校で技術を学んだというより実地で学んで力をつけていった人たちである。その意味では職人も大学出身者も同列で、新しい技術に取り組んでいた。明治22(1889)年における職人数は43万5000人、鍛冶職人4万6700人、銃鍛冶590人いたとの統計がある。この人たちが機械技術を支えていたのである。

1.2.2 明治半ば以降の機械技術者

大型の造船所では、工科大学卒業生のほか東京工業学校卒業生が多く採用されている。長崎造船所では大学卒業生はほぼ全員イギリスに派遣されているが、一部を除き、実務的技術習得でなく技術的管理者としての見学的実習であった。現場の技術の多くは、工業学校卒業生が支えていた。

兵器技術については、東京砲兵工廠で村田経芳が開発した村田銃が量産され、砲兵大佐有坂成章がこれを改良している。大阪砲兵工廠では有坂経芳が明治31(1898)年速射野砲を考案し制定されている。村田経芳は旧薩摩藩士で、独力で銃の研究をしていた。有坂成章は明治6(1873)年兵学寮で学んだ後ドイツのクルップ工場で学んでいた。

これまで全面的に輸入機に頼っていた機織機は、明治30年代になると豊田佐吉、鈴木政次郎らが自ら力織機の製造を開始した。いずれも大工職人であった。

旋盤の国産化は明治初期から行われていたが、工作機械技術は殆どを輸入に頼っていた。日露戦争を契機に幾つかの民間機械工場が本格的に工作機械の製作を始めた。この内、新潟鉄工所や唐津鉄工所の技術者には多くの高等工業学校卒業生たちがいた。

鉄道の機関車は、当初イギリス人トレビシックの下で、服部勤、太田吉松が製図に従事した。山陽鉄道では野上八重吉が設計に当たっていた。太田、野上ともに特に学歴はなかった。北海道炭鉱鉄道の手宮工場でも機関車を製造した。

日本鉄道大宮工場でも機関車が製造されたが、設計は森川荘吉であった。森彦三は帝国大学機械科を卒業しているが、他の人は特に学歴はなかった。汽車製造会社では、工藤兵治郎が実際の設計を担当した。工藤は特に学歴はなかった。その後汽車製造会社には、大阪高等工業学校卒業の後藤亀太郎、宮井淑らが参加している。このように機関車の設計、製造には大学や高等工業学校卒業者と共に学歴に関係ない人が多く活躍していた。

明治末における民間機械工場でも、幾人かの大学出の技術者が大工場に限らず、中小工場にもいて、職人と同様に機械製造に取り組んでいた。しかし、明治末における『日本工業要覧』の「工業紳士録」によると、職工学校、工業学校、高等工業学校卒業者が主となって機械技術を支えていた。富国強兵で最も力を入れていた東京、大阪の工場には大学機械科出身の学士は極少数しかいなかった。主にいたのは高等工業学校卒業の技術者たちであった。製造技術は伝統的職人と高等工業学校や工業学校卒業生が主に支えていたのである。

1.3 電気技術者

明治期の電気技術導入段階の技術者は誰であったのかを明らかにし、そこから技術発展過程を見直した。

1.3.1 電信技術導入段階における技術者

最初の電信建設は、工部省のお雇い外国人によって進められた。彼らの下で最初に従事した日本人は、語学の出来る旧幕臣を中心とした役人たちであった。工部省に修技教場（後、名称が何度も変わっているので、以後電信修技校と呼ぶ）が設けられ、短期間の電信技術の実務教育が行われた。

電信機器の製造は、工部省内での修理から始まった。ここでお雇い外国人の下にいたのは、からくり職人田中久重門下の田中精助や田中大吉ら腕の立つ職人と電信修技校出身者であった。後に、業務が拡大し、田中工場の全員が参加している。彼らは、在職期間に関係なく、その腕によって高い評価を得ていた。外国人の帰国後は、田中精助らが中心となっている。

明治10年代半ば以降になると、多くの技術者が独立して電気機器製造会社を興した。沖牙太郎の明工舎、田中大吉の田中製造所、三吉正一の三吉電機工場などである。その後も幾人かの人たちが続いている。三吉電機工場が閉鎖になると、そこにいた多くの技術者たちも独立した。

初期には、大学卒業生も製造技術に挑戦していた。石川島造船所で、帝国大学工科大学教授中野初子の指導によって、世界最高性能の発電機の製造を初めて行ったのは、主任技師岡本高介（帝国大学卒業）、製造担当進経太（工部大学卒業）であった。しかし能率が悪く故障も多く、実際の取り扱いに多くの困難があったので、以後長らく国産の大型電機機器は造られなくなった。高等教育を受けた人たちの技術力と経験が不足していた上に、今までにない製品のため、職人の経験も生かせなかった。白熱電燈の開発製造に、工部大学校教授であった藤岡市助と教え子三宅順祐が白熱舎を興して挑戦した。次いで帝国大学出身者や東京高等工業学校卒業生も加わった。しかし、海外との価格競争に負

け、打開策をGE社に依頼し、以後技術的にも全面的に依存するようになった。三宅らも退社している。同社で高等教育を受けた人は、明治41(1908)年では社長の藤岡の他1名のみで、自主技術を支える人はいなくなった。

工部省から多くの人が独立していった後、その後の通信省の製造所には、残った川口市太郎、若林銀治郎らが中心となっていたが、工部大学校や帝国大学卒業の学士はいなかった。

1.3.2 研究を開始した技術者

通信省の試験所では、電信修技校出身者らが、電話機などの研究も始めた。明治24(1891)年に独立し、電気試験所となり、工部大学校教授であった浅野応輔が所長になったが、所員は電信建設初期からの吉田正秀、西方七郎のほか、東京電信学校卒業の若手技術者が中心で大学出身者はいなかった。明治末になっても電気試験所の学士の技術者は2名であった。

1.3.3 電燈会社の技術者

東京電燈会社が、藤岡市助が中心となって設立された。続いて設立された名古屋電燈会社には帝国大学卒業の丹羽正道が、大坂電燈会社には工部大学校卒業の岩垂邦彦が技師長となった。以後、続々と各地に電燈会社が設立された。当時一般には電気の知識がなく、唯一大学電気科出身者だけがその知識があるとされたので、彼らは各地に設立された電燈会社の技師や技師長になった。これは、電気事業取締規則で、中小会社を含め全てに学識経験ある技師を置くことが義務付けられたことにもよったのである。

電燈会社の技師や技師長は、発電送電などの電気設備を購入し、電気供給を行う電気利用の管理者であり、実際の据付け、運転指導は、外国の機器製造会社の技師たちが行っていた。

1.3.4 明治後半期の学士たち

明治末の明治41(1908)年に電気事業に関わっていた大学卒業者は、325名に上る。その内製造会社には、芝浦製作所の12名の他に各社1~2名で、研究所には電気試験所の2名であった。合計製造・研究に関わっていたのは24名、全体の7.4パーセントであった。この内学士12名を抱える芝浦製作所では、明治42年以降技術は全面的にGEに依存していた。その他1~2名の企業の学士は社長や管理者であった。従って、直接技術に携わっていたのは、電気試験所の2名のみであった。

以上見てきたように、明治期「ものづくり」を通して直接技術に関わり、日本における電気技術の確立と開発を進めていたのは、殆ど職人と電信修技校出身者であった。高等教育を受けた学士たちの中では、藤岡市助などの一部の人のみであった。

1.3.5 日本の電気技術発展と技術者

電気技術は、当時は進歩の初期段階であり、藤岡市助が白熱舎を興した当時は、フィラメントに竹などを使うレベルであった。しかしその後、欧米では、科学、工学などの高等教育を受けた科学者、技術者や大学人の参加によって、急速に進歩していた。日本の場合、大学卒業の技術者が殆ど関わらなかった上

に、製造した機器は高価とか故障が多いと簡単に退けられ、経験の積み重ねは許されなかった。そして、明治後半以降、殆どの主要電気機器製造会社は、海外の企業と提携または合弁事業となって、技術は全面的に外国に依存していた。

1.4 小結

明治維新前後から急速に西欧近代技術が日本にもたらされた。明治新政府は外国人技術者を多数雇い、西欧近代技術の導入を推進した。明治10年代になると、このお雇い外国人技術者は帰国した。その後を継いで、技術を支え日本のものとした日本人技術者は、当初は伝統的職人と短期実務教育を受けた人や幕末から造船所などで経験を積んだ人たちであった。

次第に高等教育機関が整備されるようになると、その卒業生が参入した。しかし一部の人を除くと、殆ど行政官や事業の推進者が管理者になっていた。明治期において、技術を支え、日本の技術として作り上げたのは、主として伝統的職人たちと、職工学校—(高等)工業学校の卒業生たちであった。特に(高等)工業学校卒業生は、機械技術と製造技術の分野で大きな役割を果たした。

第2章 明治期における技術者教育と日本的技術者

明治期の技術者教育機関において、欧米先進国と比較し、どのような教育が行われていたか。技術者の実態はどうであったろうか。欧米先進国との対比において、日本的技術者教育の特徴と問題点を明らかにした。

2.1 高等技術者教育の実態

近代日本の高等技術者教育は、ダイアーによる工部大学校と東京大学の理学部、前者を後者が併合して明治19(1886)年設立された帝国大学工科大学から始まった。中級技術者教育としては明治14(1881)年設立された東京職工学校があり、技手を育てる工手学校が明治20(1887)年設立された。

そこでどのような教育が実際行われていたか、まず機械科のカリキュラムから見てみる。工部大学校の予科第1,2年では、基礎学科を講義で学んでいた。第3,4年の各半年間と5,6年の2年間は実地訓練をし、専門の学内授業時間は実質1年間しかなかった。併合後の帝国大学工科大学の時間割を見ると、云われているような理論の講義中心ではなく、実地教育の時間は長かった。また卒業論文の作成に3ヶ月程度を当てていたが、その内容は機器や方式について調査しまとめたもので、実習的内容であった。また実地演習は、初期は作業場で機械の据え付けや発電所などの建設などを行っていた場合もあったが、次第に各地の見学旅行になっていた。報告書も Report of Practical Work から Report of Excursion になり、実地で技術を身につけると言うより、現場を知ること重点が置かれていた。

東京職工学校では、一般教養、英語や基礎的数学を含めても講義は31パーセントしかなく、実習が60パーセントであった。校長手島精一は「職工と同じよ

うに労働をしなければならない」と述べているように、職工と共に働く人を育てていた。ここは職人的技術者を育てる学校であった。

工手学校では、在学期間は当初1年半3期で、夕方から科学の基礎を教えていて、技術者教育とはいえなかった。

明治20年代初めごろにおける米国の大学を見ると、伝統の大学では、shopやFieldでの時間は非常に少なく、MITではField作業はなかった。東京大学では、講義中心であったが、工部大学校では、予科の2年間を除くと理論を学んだのは実験製図を含めても4分の1に過ぎない。また、実地教育が少なくなったと言われた帝国大学でも、米国のMITやCornell大学のような伝統校に比し実地演習時間が非常に長かった。科学、工学の理論を学ぶ講義時間は、米国伝統校の40から60パーセントに対し、20パーセントしかなかった。ダイアー以来のイギリス式On-the-Job教育の実地重視の方針が引き継がれていたのである。

土木工学科について見ると、東京大学では講義中心であったが、工部大学校では機械科と同じく実地重視であった。帝国大学でも、講義時間は米国の大学伝統校の50から68パーセントに対し、30パーセントと少なく、理論を学ぶよりは実地教育重視の様子が見てとれる。

明治末頃で見ると、帝国大学の学内での講義時間は明治中頃に比較すると増えているが、ドイツに比べると、未だ少なかった。日本では実地教育が重視されていた、ドイツの大学では徹底して学内で講義と実験、製図を行っていた。

東京高等工業学校では、学力の低さが指摘され、数学などの基礎学科を増やしているが、依然として実地中心の教育が行われていた。徹底した実地教育重視の思想は変わらなかった。

そこで、次に各国の技術者教育思想と技術者の役割を見てみよう。

2.2 日本の技術者と技術者教育思想。

工部大学校都検のダイアーは「私はエンジニアを、大きな建設作業を設計し指揮監督するか、大きな製造を指揮出来る人と定義する」と、管理者的技術者になることが大学出身者の使命と考えていた。彼のエンジニアは、個々の技術を直接支える技術者ではなかった。彼にとって「ものづくり」は、職人のものであった。しかし教師の中には、エアトンのように、研究・開発する「実行型技術者」を育てていた人もいた。しかし、志田林三郎や藤岡市助ら直接エアトンに師事していた人たちが教授職を去った後は、実行型の技術者教育はおろそかになっていった。実地教育重視の教育は、現場を知るに留まり、卒業後直ぐに監督官になるためであった。

この実地重視の工部大学校の思想は、帝国大学工科大学にも引き継がれていた。初代工科大学学長の古市公威は「技師(大学出身者)は将校であり兵卒にあらず即指揮者である」と、彼が学んだエコール・サントラルの監督官教育を受け継いだものであった。

しかし、これに対し一部に不満や批判も出ていた。明治末、東京帝国大学教授大河内正敏は「科学的基礎を徹底して教育すべき」であり、「日本の技術者教

育は欧米に 30 年遅れている」と批判していた。

職工学校、工業学校、高等工業学校の教育方針は、職人と一緒になって働く人を作ることであり、職人的技術者を育てることであった。

明治期技術者教育として広く議論され重要とされたのは、職工と中級以下の職人的技術者を如何に育てるかにあった。一般に日本では、大学教育の内容についての理解が不足していたため、専ら中級以下の技術者に関心が向けられていたのである。

2.3 西欧諸国の技術者と技術者教育思想

2.3.1 イギリスの技術者と技術者教育

イギリスでは伝統的に経験重視の教育であった。産業革命の担い手が大学出身者とは関係が薄かったこともあり、技術は on-the-job で訓練されるか、職人のものであった。大学での技術者教育も進まなかった。当時のイギリスの大学は、「管理者的技术者と研究者」を作るところであった。科学教育は、ジェントルマン教育の一環であり、技術教育は重要視されなかった。技術者教育の遅れが明らかになっていたが、改革はあまり進んでいなかった。ダイアーは当時のイギリス式経験重視の教育を問題として、サンドイッチ方式を考案し工部大学校で実施して、当時としては成功したと言われている。しかし、基本的にはこのイギリス式の実地と経験重視の教育であった。

2.3.2 ドイツの技術者教育

ドイツの工業大学 (Technische Hochschule) の前身は、最初にベルリンに 1799 年設立された測量、建築、土木技術者に理論と実地を教える学校からである。その他の主要な都市にもその後同様な学校が創立されている。1821 年実業学校がベルリンに出来、合併して王立ベルリン工業大学になった。その後改革が行われ、入学には大学と同じレベルが必要となった。他の学校もベルリンにならい改革が行われ、入学年令も 18 才以上になり大学と同等となった。

1880 年ごろから、実際的な訓練の不足に対する不満が出てきていた。そこで 1895 年にかけて、地方政府によって実験室や研究施設への資金的援助が大々的になされ、大学内で理論の実験、確認が行えるようになった。

これらの工業大学は、19 世紀末には古典的大学と同等に認められようになった。工業大学で科学を学ぶのは、イギリスのように教養としてや管理者になるためではなかった。科学、工学を教え、その知識を基に卒業後実地に応用できるように教育するのが工業大学であった。実験室や作業場は、理論の確認の場であった。技術者としての卒業証書には実地訓練は必要なかった。工業大学を卒業してから真のエンジニアになるために、工場やオフィスで働き、実地を身に付けていた。

1909 年当時、政府の技術者になる試験を受ける前に、大学卒業後 1 年間の工場実習、2 年間の建設作業などに関わる必要があった。

2.3.3 フランスの技術者教育

科学教育が最も早くから系統的に行われたエコール・ポリテクニクでは、数

学が重要視されていた。エコール・サントラルがこの理論偏重を訂正しようと1929年設立された。ここでは、校長の言葉に「労働者の作業を十分に監督するために、あらゆる細部にわたってそれらを知る必要は全くない」とあるように、監督官のための教育が行われた。講義内容は百科事典的であった。工科大学学長になった古市公威は、この教育を受けて帰国していた。しかしその後、1879年から1885年にかけて科学教育を取り入れ、応用科学の工学系の高等教育の改革が行われた。その卒業生たちが地方産業や研究部門に多く入り、産業発展に貢献した。そこでは管理者教育ではなくなっていた。

2.3.4 米国の技術者教育

米国についても19世紀前半では経験的訓練が採用され、科学的訓練は遅れていた。19世紀半ば以降にハーバード大学、イエール大学などの従来リベラル・アーツ（教養）を主体とした大学の中に理工系学部が設置され、19世紀後半には、大学卒業のエンジニアが多く出るようになっていた。

社会的にも19世紀後半には技術者に科学知識が必須となって来ていた。教育内容についても、1830年代から1870年代にかけて科学の重要性が認められるようになった。1900年頃には、大学での科学教育がそれまでの徒弟的実践教育に置き換わっていた。先に見たようにFieldでの実習は伝統校では少なくなっていた。実地教育は大学を出てから企業で徒弟となって学ぶようになった。大学は科学、工学の理論を学ぶところであり、企業は学生に実地訓練をさせるところという分担が明確になっていた。

以上見てきたように、日本の明治期に、欧米先進国の技術者教育は大きく変わっていた。日本が大学教育のモデルとしたのは、最も遅れていたイギリスと古い時代のフランスであった。日本の技術者教育を指導したダイアーや古市公威は、一世代前の技術者であった。ダイアーはその時代としては新しい試みを実施したが、日本はその後の西欧の進歩に追従できていなかった。先に見たように国内にも日本のこの大学教育の遅れを厳しく批判していた人もいたが、明治期を通して考慮し改良されることはなかった。

2.4 技術者の実態

2.4.1 学生数

東京大学、工部大学校は、西欧に比し大きな遅れなく設立されたが、その後学生数はあまり増えなかった。代わって工業学校—高等工業学校の学生が増えていった。欧米の状況を見てみると、19世紀半ばにはドイツの工業大学（Technische Hochschule）は毎年300から350人の卒業生がいた。フランスの高等教育を受けた技術系学生はややそれより少ない数であった。1900年にはドイツ、アメリカで約10,000人の大学生がいたのに対し、日本の大学生は580人で、高等工業学校生を含めても1,000人強であった。大学学生数は明治末になってもそれ程増えなかった。それでも当時大学卒業生はこれ以上必要ないとされ、必要なのは中級以下の工業学校生と言われていた。

2.4.2 技術者の数

1900年の機械技術者協会会員数の例では、イギリス約3,100人、アメリカ1,950人、ドイツ約15,000人であった。会員の資格は各国によって異なっており、アメリカでは1902年の報告で72パーセントが大学出身者であり、イギリスはOn-the-Jobで訓練を受けた人が主な会員であった。日本は、技術者数も欧米に比して大幅に少なく、機械学会会員数は134人であった。7年後の1907年の『工業紳士録』に記載の大学卒業の機械技術者は全体でも278人であった。高等工業学校生を含めても約1,100人とまだ少なかった。機械以外の技術分野の技術者も同様であった。

明治後期には日本工業の遅れを問題として盛んに議論が展開されていた。その際必要とされたのは「発明」と「優れた職人」であった。当時は工業の基礎となる科学や技術と、それを担う技術者の重要性は認識されていなかった。これは、イギリスを手本としたことによるものであったと云える。これ以上の大学卒業生は不要とされ、明治末になっても高等教育を受けた技術者の要求も供給も増えなかった。代わって増えたのは、中級以下の技術者で、工業学校、専門学校卒業生であった。工業学校、専門学校からは、明治年間6,000人強、大正年間16,500人卒業している。彼らが技術を支えていたのである。

2.5 小結

日本の大学の教育カリキュラムは、実習など実地教育の時間は長く、理論を学ぶ講義時間は非常に少なく、実地重視の教育が行われていた。これはダイア一の管理者育成と、遅れていたイギリス式の実地教育、それに土木技術者であった古市公威の学んだ古いフランスの指導者教育の思想を受け継いでいたからであった。

19世紀後半ドイツやアメリカの大学では、科学、工学を学び、それを実地で適用出来るエンジニアを育てるようになっていた。フランスでも改革が行われていた。日本では、明治末にはいくらか改善されてはいたが、科学と工学重視への改革の必要性を認識していなかった。大学は実地に慣れ、直ぐに役立つ管理者を育てるところであった。科学や工学を適用する実行型技術者は育てていなかった。

職工学校、(高等)工業学校では、職工とともに働くための徹底した実地教育が行われ、職人的技術者を育てていた。

明治末になっても日本の大学出身の技術者は少なかった。技術系学生数の増加は、高等工業学校卒業生を含めても遅れていたイギリスよりも10年遅れていた。それでも必要とされたのは、高等教育を受けた学士でなく、実地教育を受けた職人的技術者であった。

第3章 明治期の日本的技術者と社会的意識

明治期の技術者の特質を社会的意識から解明した。

3.1 技術者の社会的地位と技術者への期待

3.1.1 明治期における技術に対する理解について

「技術」は江戸末期まで芸であり技芸であり芸術であった。明治になって一部先駆者によって近代技術確立の必要性が叫ばれたが、一般には「技術」の理解にはほど遠かった。大学で学ぶ科学と技術は「学理」と云われ、大学の中だけで充分とされていた。実際の「ものづくり」は、職人の技術で経験から学ぶものとされていた。

大正年間、機械学会の工業発展策の中で「技術」を取り上げ、その進歩を促す為に、工業教育に次いで発明発見の助長、機械製作術の発達奨励を挙げている。そこでも機械技術は職人のものであり、思いつきの発明が工業発展の主要テーマであった。技術開発の必要性は認識されていなかった。当時の日本では、技術者にもドイツのような科学的研究から技術を作り出していく考えはまだなかった。

また、経営者、国（官吏）に「技術」にたいする理解は全くなかった。技術はどこから持ってきてもよかったのである。

3.1.2 技術者の社会的地位

明治初期多くの人に読まれた中村正直の『西国立志伝』によると、技術者は「大抵貧しく、賤しい人である」としている。この「賤しい人」である点について当時問題とされることはなかった。日本においても技術は職人のものであり、職人は社会的に一段低い地位におかれていたからである。大学卒業の学士たちは、努力の精神は理解しても自分たちのこととは考えていなかった。

イギリスにおいては、技術者と科学者とは社会的地位が決定的に違っていた。『西国立志伝』の機器を発明する人、即ち技術者は、賤しい人と見なされる社会環境にあった。この点、日本でも工業に直接関わる人、技術者は職人と同列で、低く見られていた。彼らは軽蔑されていたのである。

一方、工部大学校や東京大学、帝国大学出身の学士たち自身の意識は、全く違っていた。今までの士族意識、商工軽視、官尊民卑の思想はそのまま残っていた。儒教的観念から脱し切れず、肉体労働より精神労働を尊重した。学士たちもその中の人であった。技術の輸入に当たり技術者は士族出身者であった。しかも下級士族ではなかった。大学出身者たちは、エリート意識を持ち高級官吏となることが第一の目標であった。彼等はいわゆる「技師」として技術の指導者になることであった。上級士族の意識の強く残っていた当時であつては、大学を出た学士が手を汚して直接「ものづくり」をすることは憚られた。

しかし、彼らの立場は必ずしも容易には社会的に高い地位になれたわけではなかった。大正時代に入っても、電気学会会長が年頭の方針演説の中で、地位向上を掲げねばならなかった。大学教育を受けた彼らの意図とは矛盾していた

のである。彼らはそれには気づいていなかった。

このことは海外でも同様であった。フランス、ドイツなどの大陸では、上位に大学卒業資格を持ったエンジニアがいたが、中以下の学校で技術的訓練を受けた人は下位であった。ドイツの工業大学やフランスのエコール・ポリテクニクなどの出身者は高いステータスを認められていた。しかし他の技術者は必ずしもそうではなかった。イギリスでは、工学部出身者は第二級として見られていた。またアメリカでも必ずしも高い地位ではなかった。アメリカでエンジニアが社会的に高い地位になれるのは、独立した企業家になることであった。

3.1.3 工学士への期待

大学卒業の学士には、日本最高の教育機関を出た人としての大きな期待が寄せられていた。しかし期待とは裏腹に、次第にその行動や能力に対して、批判の声が上がってきた。

明治20年代に入ると、『工学会誌』で、官吏となって漫然と暮らすことが国家の損失であると戒めていた。実業家大倉喜八郎が「学士は経済観念が全くない」とか、帝国大学総長の渡辺洪基が「工学者諸君に責任が甚だ薄い」と非難していた。技術者に対する無責任論などの非難が世間でも多くなっていた。実業家渋沢栄一も技術者が信頼出来ないと語っていた。明治期に取り入れた近代技術によって作られた構造物や機械が破損したり、事故を幾つも起こしていた。当時の技術は西欧においても、まだ、未熟であった。しかし、近代技術に対する初期の大きな期待に対して大事件であった。その責任は技術者たちに向けられたのであるが、ある意味では止むを得なかった。技術者の未熟さに加えて、指摘されているように彼らの意識が低かったことも事実であった。

しかし、明治30年代半ばになるとその単純な批判は消えて、代って工業発達の仲々進まないことに対する意見や非難が多く見られるようになった。そして、技術者が直接製造に関わることの重要性と、企業家の理解を要求するようになってきた。そして、技術者自身が知識向上を図り工業を発展させるべきとなってきた。しかし、現実とは異なっていた。前章で示したように、実際に技術に関わる学士は殆どいなかった。

3.2 明治期に必要とされた技術者

明治初期お雇い外国人の後を継ぎ近代技術を担った主な技術者は、伝統的職人や短期間の実地教育を受けた人たちであった。前章で見たように高等教育を受けた日本の技術者は、欧米先進国に比し大幅にその数が少なかった。明治期の殖産興業、工業発達のために多くの技術者が必要とされるようになった。特に多く必要とされたのは、技師ではなく技手であった。高いレベルの科学や工学を学んだ人でなく、中等以下の実地教育を受けた技術者と職工であった。

明治末になっても帝国大学の卒業生は不足はないと云われていた。科学、工学の知識をもった大学出身者よりも、実地訓練を積んだ職人的技術者が必要とされていたのである。この要求を受けて、明治末から多くの高等工業学校、地方の工業学校が設立されていた。

3.3 社会的出自とエトス

3.3.1 技術者の出自

明治期には学士は士族が多かった。工科大学卒業生の60パーセント以上が士族であった。主に技手になった東京職工学校—東京(高等)工業学校卒業生も、大学出身者と同じく明治30年代までは60パーセント以上が士族であった。技手、工手として職工や職人と共に働いた工手学校卒業生では、明治20年代で士族が50パーセント、30年代で30パーセント代であった。士族の割合は、大学や高等工業学校卒業生よりやや低いが、多くが特に下級武士の子孫であった。全人口では明治時代を通じて士族の比率は約5パーセントで、明治30(1897)年当時の日本の士族人口は209万人、戸数39万戸であった。その中の多くが技術者や職工になっていたのである。

上級士族が英語学校等で学び、学問が出来た者が学士になり、下級士族や士族にもなれなかった底辺の武士の子孫が技手や工手などの下級の技術者になったのであった。

3.3.2 士族のエトス

多くが士族であった技術者たちの意識を見てみよう。下級士族は、努力主義、向上主義と、勤勉主義、勤労主義の意識を強く持っていた。この意識が、立身出世を願い、勤勉、勤労主義が技術発展に大きく寄与した。特に下級士族は、上級士族とは、貧富を異にし、生活が苦しく手細工、紡績など内職を行う場合が多く(福沢諭吉は一種の「職人」とも位置付けている)、教育を異にし、算筆の技芸で上級士族を上回った。

下級士族はこのように既に「職人」でもあった。従って、何のわだかまりもなく職人と一緒に働く職人的技術者になったのである。この点は学士と異なっていたと言える。そしてこの下級士族の向上心と勤勉主義、そして勉学による家族への榮譽心が、これまで述べてきた職人的技術者の精神を支えていたのであった。

3.4 小結

明治期においては、技術は職人のものと見なされ、技術者も社会的には低く見なされていた。しかし、大学卒業の学士たちは、上級士族の意識を持ち立身出世を願うエリートであった。学士には高い期待が寄せられていたが、近代技術には失敗も多く、その期待を裏切った形となり、明治中頃には多くの非難が寄せられていた。

一方、当時必要とされたのは大学出身者でなく、高等工業学校出身以下の職人的技術者であった。ここに前章で見てきた職人的技術者活躍の基盤があった。

彼らの多くは士族であったが、下級士族であった。下級士族は幕藩時代から貧しく職人に近い生活をしており、わだかまりなく職人と一緒に働く職人的技術者になった。明治期日本の技術を支えた彼らは、下級武士の勤勉、向上心、家族への榮譽心をもった人たちであった。

第4章 明治期の日本的技術者と技術的特質

これまで見てきたように、技術の現場で実際に活動した技術者が、職人と職工学校や（高等）工業学校卒業の職人的技術者であったことから、明治期の日本の技術進歩への影響と日本的技術者の特質を明らかにした。

4.1 日本的技術の特質

土木技術では、計画、設計は、高等教育を受けた人たちによって進められ、その後も進歩していた。しかし、施工などの現場の技術では、社会的に低い地位とされ、評価されなかった施工業者が推進したため、大きな進歩は示さなかった。従って、施工技術に依存することの多い隧道建設や、科学的知識を持った技術者の参加が少なかった橋梁設計では、大きく遅れたままであった。明治末時点では、世界の水準に対して隧道の長さで $1/3$ から $1/4$ 、橋梁スパン長で $1/8$ と、世界の技術進歩から大きく取り残されていた。この遅れは第二次大戦後まで尾を曳いていた。

機械技術について見ると、主要機械工業は、国家が直接運営したり、強力な指導によって進められた。しかし、産業の発展と機械技術の発展とは必ずしも一致してはいなかった。規模は小さいながら民間の職人による機械工場によっても各種の機械がつくられ、色々な分野で近代的西欧の機器を模造することによって、近代技術を取り入れ、技術を確立していた。こうした中で、豊田佐吉らの自動織機、少し遅れるが田熊常吉のタクマ式ボイラーの開発へ繋がっていた。基本的技術の工作機械の自製は遅れたが、明治末には自製されるようになった。機械技術に関しては、総じて明治期に自分たちだけで製造可能となった。特にその製造技術は職人と高等工業学校卒業生等の職人的技術者によって確立されていた。機械技術は、模造による技術取得の上に、改良、開発が出来る技術であった。また生産技術は職人たちの工夫・改良によって発達できた。しかし、タービン機関のような飛躍した新技術に早期に追従することは困難であった。

電信機器は職人たちによって模造から早期に自製された。しかし、新しい電信電話技術は海外に依存するようになっていた。当時、電燈電力技術は科学によって次々と新しい技術が開発される技術であった。製品の模造からでは最新技術に早期に追従する事はできなかった。しかし、科学的知識を持った技術者は開発現場にはいなかったため、年々進歩する技術には追従出来ず、海外に依存するようになっていた。

4.2 日本的技術者の誕生

技術者にとって、20世紀は19世紀とは様変わりした時代であった。その一つは、技術への科学の適用とその威力の大きさである。アメリカでは19世紀末までに、技術的問題は、科学的方法で処理するようになっていた。技術者には

新しく生まれた科学的知識を持ち科学的に実行する能力も必要になっていた。特に土木技術、機械技術、電気技術の分野では、物理的知識の効用が顕著であった。技術史家ノーブル (David Noble) が「科学と技術の結婚」として「20世紀に入り、3つのタイプの技術者プロフェッショナリズムが出現した。最初はビジネス・リーダー型で企業組織のタイプ、次は企業従業員としてのエンジニア型、3番目は科学的知識を持った専門職である。技術者は、科学者の性質を備えるようになった」と述べている。

日本では、明治末になってもノーブルの云う科学的知識を持ったエンジニアは少なかった。しかも彼らは第1番目の管理者的エンジニアになった。第2番目の工場のエンジニアは、職人的技術者が担っていた。彼らは、科学的知識は持っていなかった。しかし、模造から西欧の近代的製品を製造することの出来る分野では大いに活躍した。第3番目の科学知識を直接活用するエンジニアは長らくいなかった。そのエンジニアの出現は第二次大戦後まで待たねばならなかった。イギリス人ラミング (L. Laming) が、イギリスでは「大学卒業生が、科学法則をゲーム (技術) のルールとするようになるまで、エンジニアを育てることに失敗していた」と述べているが、明治日本では、その意味では、エンジニアは育ててはいなかったのである。

大学は官吏の養成機関であった。上級士族であった学士たちは、エリート意識を持ち、手を汚して「ものづくり」の技術に直接関わることは憚られたのである。技術は職人のものであった。工業の基礎としての科学、技術の理解は全くなかった。ここに科学知識を持った技術者が不在となる要因があった。その背景には、中山茂の云う「西洋科学を芸として濾過して採るといふ道が採られた。その結果…功利主義的唯物論的な捉え方に偏したきわめてプラグマチックな科学」があった。日本人にとって、科学も技術も同列の「芸」であった。自然の原理としての科学はおろか、技術の原理としての科学の理解も薄かったのである。

明治日本が国家政策のもとに模倣によって追従したのは、それを実行したのが職人的技術者であったことと無関係ではない。明治期生まれた当時の日本的技術者は、以上のような特徴を持った技術者であったと言うことが出来よう。

4.3 小結

日本は、明治期多くの分野で西欧近代技術を急速に採り入れ、それらを日本の技術として確立した。それを支えたのは主として職人と職人的技術者であった。このため、模造や経験から習得できる機械の製造や生産技術の分野では西欧に伍して発達した。しかし、科学や工学によって西欧で急速に進んでいた大型電力技術や橋梁設計などの分野では追従出来なかった。

20世紀は、技術は科学によって支えられる時代であった。「科学」が技術者であることのアイデンティティになっていた。この時期の技術者は、管理者的技術者、工場の技術者と科学者の技術者のように分類されるが、明治日本では、少数の管理者的技術者と工場の職人的技術者しかいなかった。20世紀に入り科

学を適用する技術者が真の意味の技術者となっていたが、そのような技術者は日本にはいなかった。明治期に生まれた日本的技術者はこのような技術者であった。

第5章 まとめ

5.1 結論

明治期に西欧技術を採り入れ日本のものとした日本人技術者は、当初は伝統的職人と短期実務教育を受けた人たちであった。教育機関が整備されるようになると、その卒業生が参入した。しかし高等技術者教育を受けた人たちは、一部の人を除くと、多くは官吏や事業の推進者か管理者になっていた。中等技術者教育の職工学校、工業学校、高等工業学校の卒業生が社会に出てくると、彼らが大きな役割を果たした。彼らは職人的技術者であった。

明治期の高等技術者教育は、実地が重視されていた。帝国大学になっても、この実地重視の思想は引き継がれていた。19世紀末までにアメリカやドイツの大学では、科学や工学の理論重視教育への改革が行われ、大学では理論を学び、実用的技術は工場に出てからその応用を実地で学ぶようになっていた。日本の高等教育では現場を知ることを重視した実地教育が行われていた。日本の技術者教育は、明治末には先進国から30年遅れていた。高等工業学校などでは、職工と共に働く職人的技術者を育成していた。明治期の技術者は、このような教育を受けて育成されていたのである。

明治期の技術者の社会的地位は高くなかったが、高等技術者教育を受けた技師たちはエリート意識を持っていた。また、彼ら技師は、当初社会から高い期待をかけられていたが、じきに期待はずれと非難されるようになった。大学生や大学出の技術者数は西欧に比し非常に少なかった。しかし、社会で必要とされていたのは、科学や工学を学んだ学士ではなく、実地訓練を受けた中級以下の職人的技術者であった。彼らも多くは士族であり、士族的エトスをもって技術を担っていた。

明治期の技術は、職人の経験と工夫によって推進できる機械の製造や生産技術分野では大いに進歩し、欧米に伍して発展した。しかし、科学と工学の高い知識を必要とする分野では、追従できず外国の技術に依存していた。

明治期に生まれた日本的技術者は、ノーブルの言う技術者のうち、大学出身の少数の第一の管理者的技術者と、職人と実地教育を受けた職人的技術者の第二の工場の技術者であった。第三の科学や工学を適用する技術者はいなかった。その原因は、士族によって進められた早急な明治国家建設と富国強兵政策に加え、日本的な実利的、唯物的な考え方により、科学、技術の真の意味を理解しえなかったことによるものであった。

明治期の技術者の特質は社会的歴史的連続性を持つものであった。こうして明治期の日本の技術の特徴は、諸々の社会的要因の結果として、職人的製造技術となったといえる。

5.2 今後の課題

明治期の近代技術導入の基礎には、江戸時代から伝統的技術を担っていた職人たちがいた。また、明治期の技術者を引き継いで、大正、昭和から現代の日本的技術者へと繋がっている。これらの技術者についても、今後研究すべき課題である。

今回の分析は、土木、機械、電気の技術者を中心に行ってきたが、さらに、鉱山、冶金の技術者や、化学、建築の技術者についても分析、研究が必要である。これらの技術者を分析することによって、また新しい知見が期待できるものとして今後の課題としたい。

An Analysis of Engineers in Meiji Japan

—Artisans and Artisan-Engineers constructed Modern Technologies—

TSUNEKAWA, Seiji

Abstract:

This thesis looks at practical engineers and their characteristics in Meiji Japan (1868-1912), who helped create the country's modern technologies.

First, it offers a survey of civil engineers, mechanical engineers and electrical engineers, who worked directly in field to introduce and construct modern technologies in Meiji Japan. In the first half of the Meiji Period, most of actual engineers were artisans and the persons who underwent a short training in ad hoc schools. The engineering graduates of colleges mostly became bureaucrats or managers in business. In the second half of the Meiji Period, this trend continued, but an increasing number of graduates of vocational schools or technical high schools began to fill engineering posts.

Second, it explores the curriculum and the philosophy of the engineering education that these engineers had. Colleges and schools in Japan gave the practical fieldwork a prominent place. They put less emphasis on theoretical and engineering science, in comparison with that of Germany and U.S.A. Japanese colleges trained students towards bureaucratic or managerial positions. Vocational schools and technical high schools made actual work in the field with workers a major task of schooling, but taught a little science or engineering. As a result, its graduates became 'artisan-engineers.'

Number of college students in Japan was far smaller than that of European countries and U.S.A. However in Japan, there was a little need for college graduates. Real need was for students of middle class engineering education, as artisan-engineers. They generally came from *shizoku* or *samurai* origins, and had high morale and a firm ethos of public service.

In the twentieth century, new technologies became increasingly depended on science. It made it more difficult for Japan to follow the new advancements in technology, because of its few engineers with college education and sophisticated knowledge of science.

コンピュータにおける GUI 発展過程に関する研究

木本研究室 姜波

第一章 はじめに

1.1 研究の背景

これまで、コンピュータ発展史は、中央演算素子や記憶素子を基準とする、いわゆる第1世代、第2世代、第3世代など IBM 社の製品に基づく時代区分にしたがって分析されることが多かった。マイケル R.ウィリアムズ (Michael R. Williams)¹や R.モロー (R. Moreau)²、ゴールドスタイン (H. H. Goldstin) の著書³などは、その典型である。高橋茂⁴、富田倫生⁵、小林功武⁶などの日本で公開されたコンピュータ史書の多くも、同様である⁷。こうした視点でのコンピュータ史では、ハードウェア発展史の解明が主たる分析対象とされることになる。ソフトウェアの変化などの分析があっても、ハードウェアの発展史と関連づけた視点も強くはない。

たしかに、コンピュータの発展は、トランジスタや集積回路などのハードウェアの発展を無視しては成り立たない。しかし、ハードウェアや、ソフトウェアなども、それらは個々に独立的に発展するものではない。また、コンピュータがどのように使われるか、いわば利用目的にも関わって発展してきている⁸。さらに、コンピュータ側のみでなく、利用者としての人間側の要素も無視をすることはできない。実際、コンピュータと人間(利用者)との「相互作用」(Interaction)によって生じた様々な変化が、発展史に影響を与えている。

ところで、コンピュータ入出力及び操作の手法としてユーザ・インタフェース (User Interface) ということが言われる。ユーザ・インタフェースとは、一般的に人間とコンピュータのデータをやり取りする手段の総称であり、人間とコンピュータを媒介するものであると理解されている⁹。たしかに、ユーザ・インタ

¹ Michael R. Williams, *A History of Computer Technology* (IEEE Computer Society Press, 1977)

² R. Moreau, *The Computer Comes of Age* (MIT Press, 1986)

³ ハーマン・H・ゴールドスタイン (末包良太・米口肇・犬伏茂之訳) 『計算機の歴史 パスカルからノイマンまで』 共立出版, 1979年

⁴ 高橋茂 『コンピュータ クロニクル』 オーム社, 1996年

⁵ 富田倫生 『パソコン創世記』 TBS ブリタニカ, 1994年

⁶ 小林功武(小田徹訳) 『コンピュータ史』 オーム社, 1983年

⁷ Stephan G. Nash (ed) の *A History of Scientific Computing* (ACM Press, 1990) のような特殊目的に限定されたものは対象外である。もっとも Stephan G. Nash のものは、コンピュータの歴史書ではない。

⁸ 利用形態など、言わば社会的な側面だけに発展要因を限定すると、狭義の社会構成主義的な議論になろうが、本論ではそのような立場をとるものではない。本論では、コンピュータがどのように使われているかという視点からもっと一般的な概念として扱う。

⁹ 情報処理学会 『新版・情報処理ハンドブック』 オーム社 (1995年), 第10編「ヒュー

フェースは、コンピュータのハードウェアやソフトウェアなどに関わりながら、人間側のあり方も関係している。そこで、ユーザ・インタフェースの発展史を分析することは、コンピュータ側と人間側の関わり合いの視点からのコンピュータの発展を明らかにすることができる一つの方法であると考えられる。本論は、このスタンスに立つものである。

1.2 先行研究

GUI の発展背景に関しては、1960 年代初期に登場してきた対話型コンピュータ (Interactive Computing) から登場するようになっていくという見方が一般的である。そして、その初期のアイデアは、1940 年代まで遡ることが出来ると指摘されている。即ち、アメリカの科学者、当時 MIT の教授であった V. ブッシュ (Vannevar Bush) が、1945 年に情報保存検索装置メメックス (Memex) を発想し、表示装置ディスプレイやペンのような操作装置 (ポインティング・デバイスの一種と見てもよい) の利用を想定したことがある¹⁰。

メメックスは、実用的な装置にはならなかったが、情報処理の手法を考案した最初の装置として、その後の情報処理技術に影響を与えた。特に、表示装置及びペンのような操作装置は、人間とコンピュータのユーザ・インタフェースに対話的な機能の利用を最初に考案されたものと言われている¹¹。

コンピュータ史の研究者のマーティン・キャンベル＝ケリー (Martin Campbell-Kelly) とウィリアム・アスプレイ (William Aspray) は、GUI の土台になる技術や多くのアイデアが、1960 年代にアメリカ国防総省の高等研究計画局 (ARPA)¹² の情報処理技術局 (IPTO)¹³ から資金支援を受けたスタンフォード大学やユタ大学などの研究機関から生み出されたと見ている¹⁴。

次に、GUI 開発におけるもう一人の立役者が、ユタ大学のコンピュータ・サイエンス研究所から現れたと M. キャンベル・ケリー & W. アスプレイは見ている。実際、デービット・エバンズ (Debet Evanse) とイワン・サザーランドの指導の下にコンピュータ・グラフィックスに関する数多くの基本的な発明が生まれている。1969 年、大学院生のアラン・ケイ (Alan Kay) はグラフィックス的なユーザ・インタフェースを搭載するパーソナル・コンピュータ・フレックス・マシンの開発を試み、そのアイデアは 1970 年代以降、GUI 搭載機ワークステーション・アルト (Alto) の原型となった。M. キャンベル・ケリー & W. アスプレイはこれが、「近代的な GUI につながる二本の糸」になったと指摘している¹⁵。

鶴岡雄二は、アラン・ケイの発想の形成は、当時のユタ大学校内からの影響だ

マン・インタフェース」を参照されたい。

¹⁰ Vannevar Bush, "As We May Think," *The Atlantic Monthly*, 176 (1945): 641-649, 642.

¹¹ James M. Nyce & Paul Kahn, *From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine* (Academic Press, 1991), 289.

¹² ARPA は Advanced Research Project Agency の略である。

¹³ IPTO は Information Processing Techniques Office の略である。

¹⁴ Campbell-Kelly & Aspray, *Computer: A History of the Information Machine* (New York: Harper Collins, 1996), 257.

¹⁵ Campbell-kelly & Aspray, *Computer: A History of the Information Machine* (New York: Harper Collins, 1996), 65-66.

けでなく、1940年代のブッシュや同時代のMITのサザーランドからも強い影響を受けていたことを分析し、初期のGUIに関する個々のアイデアが相互に内在的な関係をもっていたことを示している¹⁶。

他方、ユーザ・インタフェースの発展史は、人間工学の視点からも検討されてきている。ブラッド・A・マイヤーズ (Brad A. Myers) の論文では、GUIの要素の登場時期などが整理されている¹⁷。ただ、人間工学視点の研究では、モデル構築の手法や評価などに関心が置かれ、GUI技術がいかに歴史的に構成されてきたかという技術的な関心は見られない。

1970年代以前の発展史を全体的に展望することを目的とするティエリー・バーディニー (Thierry Bardini) の著書では、マルチ・ウィンドウやマウスなどを用いる初期段階のGUIを試みていたエンゲルバートらの開発に注目している。そして、バーディニーは、GUIはコンピュータの利用がパーソナルなものへ展開する中で作られたものと主張している。さらに同氏は、その結果が1970年代以降にPARC研究所によって継承され、GUIの発展に重要な存在となっていることも指摘している¹⁸。

1970年代になると、GUIの発展は実用化段階に入る。その中心的な役割を果たしたのは、ゼロックス社 (Xerox) によって設立されたPARC (Palo Alto Research Center) とアップル社であった。PARC研究所は1970年～1981年にかけて、オフィス内の業務処理に照準を合わせた情報処理技術の開発に取りかかっていた。ここでワークステーション・アルト (Alto) から、GUIの構築に欠かせないビットマップ表示手法やWIMPを構成するデスクトップやアイコンなどの、今日のGUIの構成案が提案され、世界初のGUIを搭載するワークステーション・スター8010 (Xerox Star8010) が開発された。こうして、GUI発展史の研究では、PARCが注目されるのは、当然の成行きであろう。

なぜ、PARCがGUIの開発に成功を収めたのかという点については、マイケル・ヒルツィック (Michael Hiltzik) は、「爆発的な創造性」、「優秀な人材」、「十分な研究資金」及び「自由な研究環境」が統合されたという説¹⁹を提出している。ところが、PARC研究所によって開発されたGUIは、その先進的な発想にもかかわらず商業化に遅れ、ゼロックス社は巨大なパーソナル・コンピュータ市場に優位を立つチャンスを失った。なぜ、ゼロックス社は商業化に遅れたのであろうか？ダグラス・スミスとロバート・アレクサンダー (Douglas K. Smith & Robert C. Alexander) は、研究者に「市場重視」の視点がなく、この点でゼロックス社の体制に欠点があったと指摘しているが、これだけでは十分な説明になっているとは言えない²⁰。

¹⁶ アラン・ケイ (鶴岡雄二訳) 『アラン・ケイ』アスキー株式会社、1992年、12-16頁。

¹⁷ Brad A. Myers, "A Brief History of human Computer Interaction Technology," *ACM Interactions*, 5 (1998): 44-54, 45.

¹⁸ Thierry Bardini, *Bootstrapping: Douglass Engelbart, Co-evolution and the Origins of Personal Computing* (Stanford University Press, 2000), 125-128.

¹⁹ Michael Hiltzik, *Dealers of Lightning: Xerox Parc and the Dawn of the Computer Age* (Harper Business, 2001), 6-7.

²⁰ Douglas K. Smith & Robert C. Alexander, *Fumbling the Future: How Xerox Invented, then Ignored the First Personal Computer* (Universe.com, 1999), 210-216.

1.3 問題提起

以上のように、これまでに GUI の発展は二段階に分けられ、個々の歴史的な事実や開発経緯の整理によってかなりのことは明らかにされてきたと言ってもよいが、問題点も多く残されている。

まず、第一に、先に見たように、1960年代までになされた個々の GUI 関連諸要素の「発明」に関しての個人体験説的な資料は、これまでも提示されてきている。しかし、それらは、現在なお歴史発展的に整理されていない段階にあり、ばらばらに提示されている状況にある。例えば、個々の発明の相互関係や後に GUI として結実していくまでの、それぞれの歴史的役割や、GUI に至るまでの道筋をなす、言わば導びきの「赤い糸」は、いかなるものであったかなどは、まだ十分には解明されていない。「1970年代以前の発展段階」についても、それ自体は、解明が進んでいるにしても、その段階からいかにして「1970年代以降の発展段階」に飛躍したか、何をきっかけにして第二段階（1970年代以降）に入っていったのかという発展のメカニズムについても、まだ十分には究明されていない。また、逆に全体の通史的な視点から見た時には、あるいは、後期の発展の段階から見ての1960年までの個々の発展の位置づけや再評価も必要になろう。

第二に、GUI の基礎的構成は、1970年代初期に提示され、1981年にアップル社によって最初のパーソナル・コンピュータ用の GUI が開発されたが、GUI そのものの普及は1990年代初期頃²¹にならなければ実現しない。いわば、約10年間のギャップがあるわけであるが、このギャップをどのように歴史的に理解すべきであろうか。また、これに関連するが、この時期に起きた発展に関して、先行研究の多くは、ゼロックス社の PARC 研究所の基本的なアイデアが、そのままアップル社のパーソナル・コンピュータ・リサに移行された²²としている。しかし、はたして PARC 研究所の GUI とアップル社のリサの GUI の関係はどんなものであったのかが、検証されることも必要であろう。

第三に、1970年代以降、当時の DOS 系に対して、GUI の開発が先行していたアップル社は、やがて、マイクロソフト社の MS-Windows に追い付かれ、パーソナル・コンピュータ市場においては、主導権を奪われたことになる。GUI は、コンピュータの普及において、「使い易い」コンピュータということで大きな意義をもつにも関わらず、アップル社が、主導権を奪われたのはなぜか？ 両者の GUI の相違や市場競争のメカニズムにおける GUI の意義も検討されねばならない。

先に述べたように、GUI の歴史は、現在注目されている、そして、断片的な記述やデータが数多く出されている。これらのデータを統一的に記述する段階に來ているとみられる。

²¹ この頃ではマイクロソフト社の MS-Windows 3.0 と IBM 社の OS/2 Warp 2.0 が開発された。

²² マイケル・ヒルツィック（鴨沢真夫訳）『未来をつくった人々—ゼロックス・パロアルト研究所とコンピュータエイジの黎明』（株）毎日コミュニケーションズ、2001年

本論文は、GUIの通史的な発展を論じる。さらに、以上のようなGUIの発展過程を明らかにするため、上述のように人間とコンピュータの相互関係、即ち、コンピュータとその使用目的との問題を見る視点から議論を展開する。

第二章 コンピュータ機能の変容とGUIの起源

2.1 初期コンピュータにおけるユーザ・インタフェース構成の特徴

電子コンピュータの誕生以前では、歯車などを演算素子として作られた機械式計算機が使われていた。機械式計算機には、独立した入出力装置が搭載されていないため、データの入力や計算結果の表示は、計算機本体に付属されている機械的な装置によって直接的に機能していた。例えば、十七世紀に数学者パスカル(Blaise Pascal)によって考案された最も古い機械式計算機や、1671年、数学者ライプニッツ(Gottfried W. Leibniz)が、加減乗除及び平方根の計算ができる歯車式の計算機などでは、データ入力は、歯車やレバーで直接に設定され、処理結果の表示も、数字盤の回転や指針の移動などの装置によって行われており、人間と計算機のデータやり取りは非常に単純なものであった²³。

しかし、1940年代以降、電気的な演算素子が開発されると共に、電気機械または電子コンピュータが開発されるようになった。これらのコンピュータで、ユーザ・インタフェース上最も目立つ変化と言える点は、大量の計算データの入出力や制御プログラムの入力のため、独立した入出力装置が使われるようになったことである。しかし、コンピュータの使い方は、単純な計算処理に限定されていたことによって、ユーザ・インタフェースとしては人間と受動的に動かされる計算機械という関係の枠組を超えていない。

2.2 コンピュータ・ワールウィンドと防空システムSAGEの開発

第二次世界大戦の終わり頃、アメリカ海軍は新たな飛行シミュレータの開発をMITに依頼した。このシミュレータは、実験的なフライト・シミュレーションだけが目的ではなく、風洞実験データを入力すれば設計段階でも飛行機の特性を確認できることが求められていた²⁴。つまり、設計中の飛行機に対して各種のデータを入力すれば即時に完成品をシミュレートできるシステムである。さらに、風洞実験のデータを参考にし、設計を修正しようとするときに、新しいデータをコンピュータへ入力し、即時に修正した結果を製品に反映するような機能が要求されていたのである。このような機能は、従来のコンピュータではできなかった。

海軍研究所(Institute of Naval Research)には、ワールウィンドの開発を放棄すべきとの主張も出てきた。当時、戦後まもなくの冷戦開始前には、戦争終結という視点から米国国防総省(Defence of America)は、欠くことができないシステム以外には高コストの研究は支持しないと言う方針がとられていたからで

²³ Michael R. Williams, *History of Computing Technology* (IEEE Computer Society, 1997), 129-136.

²⁴ George E. Valley, "How the SAGE Development Began," *Annals of the History of Computing*, 7 (1985): 196-226, 197.

ある²⁵。

当時の防空システムは、手動システムと言われていたものが使われていた。オペレータがレーダの画面を見て、専用スキャナーを使い、敵機の方向、角度、速度を判断するシステムである。オペレータが、飛行機の移動軌跡とほかの関連情報を判断し、迎撃機に迎撃命令を下し、迎撃準備をさせる。しかし、一台のレーダの監視範囲は限られていたため、監視目標が監視範囲外となった場合は、次の監視区域に移させ、いわゆるオペレータの「交代」が必要になる。こうしたシステムでは、大規模な攻撃に対して、いくつかの問題がある。例えば、一つの監視区域内の多くの目標に対して、同時に方向、追跡、自動認識、迎撃の処理は出来ず、低高度から侵入する敵機も、探索しにくい。

空軍は新規に開発することを検討しながら、同時に稼働中のコンピュータの転用も検討した。ジョージ・バレー (George Valley) は、開発チームのリーダーであるフォレスター (Jay Forrester) が行ったワールウィンドの作動デモを見て、バレー委員会にワールウィンドの採用を提案した。実は、バレー委員会が目にしたのは、単にコンピュータの性能だけでなく、ワールウィンドを開発していた MIT の「サーボ機構研究所」(Servomechanisms Lab) とそこで働く技術者らでもあった。フォレスターとボブ・エバレット (Bob Everret) は、すでに 1947 年から国防総省の依頼を受け、防空システムを研究し、二本の防空システム構想についての報告書をまとめていた²⁶。こうして、MIT のサーボ機構研究所で、本格的な防空システムを想定したワールウィンドの研究が行われ、1954 年までに実験的なシステムが作られたのである²⁷。そして、ワールウィンドが SAGE システムの中央制御コンピュータに充用されることになった。

2.3 SAGE システムにおけるユーザ・インタフェースの発展

演算処理高速化の問題は、SAGE の開発が直面した最も大きな課題であった。これは、主にリアルタイム機能の利用に関係していたのである。これを解決するために、コンピュータ・システムを構成するための方式、つまりアーキテクチャの革新や高速化磁気コア・メモリの採用が必要であった。こうしたコンピュータの情報処理能力向上の他に、SAGE システムには、コンピュータの全体の機能や利用形態だけでなく、新たなデータ入出力の方法が求められた。防空システムのように即時対応が要求される場合には、一括処理システムに利用されていたパンチカードなどの入出力装置では対応できなかった。そして、利用者とコンピュータのデータやり取り手法を規定するユーザ・インタフェースも、システムの全体の性能を向上させるために改良される必要があった。

こうして新たなユーザ・インタフェースが試みられていくが、まずは、表示装置ディスプレイの利用である。SAGE に採用された表示装置は、主に 16 インチの CRT ディスプレイであった。この表示装置は、主に監視範囲内の地上情報及び監視目標の情報の表示を目的にした。SAGE の情報の表示にグラフィックスが

²⁵ Kent C. Redmond & Thomas M. Smith, *From Whirlwind to MITRE* (MIT Press, 2000), 95.

²⁶ Kent C. Redmond & Thomas M. Smith, *From Whirlwind to MITRE* (MIT Press, 2000), 55-57.

²⁷ Kent C. Redmond & Thomas M. Smith, *From Whirlwind to MTRE* (MIT Press, 2000), 37.

使われていたことに注目される。たとえば、地上の情報として、地図つまりグラフィックスが表示されている。空中の目標は、光スポットあるいはグラフィックスなオブジェクトとして示された。同時に地上配置されている迎撃機の配置状況も、一目で分かるようにグラフィックスで示されている²⁸。

こうした SAGE システムにおけるグラフィックス表示手法の利用が、コンピュータ・グラフィックス処理技術の先駆的なものと考えられる。

しかし、人間とコンピュータとの間での情報のやり取りの高速化には、表示装置の導入だけでは十分ではなかった。SAGE の中で、レーダによって監視される目標の位置や移動方向などは、即時に確認することが求められる。このような操作は、従来は手動で行われていた。迅速に情報を伝達するには、何らかの改善が必要であった。目標の位置情報を速やかに読み取り、そしてコンピュータへ入力する装置が問題になる。まず、入力として、このために開発されたのが自動読取装置ライト・ガン (Light Gun) である。

レーダの枠組から考えれば、ライト・ガンは、自動的光学データを認識する装置にすぎない。これを、コンピュータ・システムから考えると、ライト・ガンは、従来なかった入出力装置になる。この装置の特徴は、利用側がデータの内容に触れずに直感的に入出力できるようになる点である。ライト・ガンのような直接操作できる装置と、前述したグラフィックスという形の情報表示手法が結合されたことに、SAGE のひとつの特徴があった。これが、グラフィックス・ベースのユーザ・インタフェースの最も初歩的な形態として位置づけられよう。

2.4 「全自動」か「半自動」か：システムの限界と人的要素

SAGE プロジェクトが開始されたころは、コンピュータはまだ一部で工業的に自動制御に応用されたはじめてばかりで、軍関係方面では、この技術にたいして十分に理解していなかった。彼らは、防空システム SAGE は、ほかの工業制御システムと同じように、「全自動化」できるはずと考えていた²⁹。

1950年10月、ADSECは国防総省の依頼によって、防空システムの改良について報告書を提出した。この報告書には、「全自動」の考え方が特徴付けられていた。1961年、国防技術の開発を統括する高等研究開発局 (ARPA) も、IDA (Institute of Defense Analyses) の報告書³⁰を通して、「全自動」のシステムの開発を提案している³¹。

こうして、SAGE の設計者らは、情報の収集、分類、処理、指令作成などの処理プロセスをすべて「全自動化」する目標を目指していたのである。しかし、情報の収集や加工などの処理は、コンピュータに依拠することができるが、処

²⁸ M. R. Davis & T. O. Ellis, "The Rand Tablet: A Man-Machine Graphical Communication Device," *Proceedings-Fall Joint Computer* (1965): 24-28.

²⁹ A. L. Norberg & J. E. O'Neil, *Transforming Computer Technology: Information Processing for the Pentagon, 1962-1986* (Johns Hopkins University Press, 1996), 58-59.

³⁰ Norberg, Arthur, Judy O'Neill, & Kerry Freedman, *A History of the Information Processing Techniques of the Defense Advanced Research Projects Agency* (Minneapolis MN: Charles Barbbage Institute, 1992), 358.

³¹ Inst. for Defense Analyses, "Research and Eng. Support Division, Computers in Command and Control," *Tech. Report 61-12*, 11(1961): 1.

理結果に基づく分析を判断することは、コンピュータに頼れない部分があった。この問題から、システム開発が完成に近づくとき、オペレータの人数は、「自動化」によって減るのではなく、逆に増える現象が生れた。

こうした問題をみて、1957年、J.C.R. リックライダーは、SAGEの「全自動化は不可能」と批判するようになった³²。J.C.R. リックライダーは、「大規模な情報処理のためのシステムには、人間要素が含まれていると見るべきである」と述べている³³。

1960年の時点でも、J.C.R.リックライダーは、空軍のためのシステムの開発にも、従来の「全自動」の考え方を批判していた。なぜ、J.C.R.リックライダーは、「全自動」でなく、「半自動」を主張するようになったのかを見ておきたい。

J.C.R.リックライダーが1957年に書いた論文³⁴にSAGEにおける「人間とコンピュータの関係」について分析されている。そこでは、SAGEのシステムは、「各センターでは、当然、メモリ拡張可能な大規模なデジタル・コンピュータが装備されている。このセンターでは、関連分野が通信チャンネルによって相互を繋ぐ、人間とコンピュータのコミュニケーションは四つ方式で行われている。

(1) マイクロフォンに話す、(2) 表示装置と制御の結合、ペンのような装置を使って、画面上に直接書く、(3) グラフィックス的なデータを入力することができる、関連する情報をグラフィックスという形で表現する、(4) オペレータは、タイピング、あるいは他のすでに使われている出力装置を利用する」ものとして把握されている³⁵。

また、これとは別に「情報の収集及び表示が、多くの面では、全自動化になっていない。コンピュータ・システムの稼働は、数百名のオペレータとの連携が要求されている。これは技術の限界とも言える」とリックライダーは指摘している³⁶。

さらに、J. C. R. リックライダーは、別の機会に「SAGEでは、主な情報の分析及び制御するための大規模な人間-機械システムの経験を提供した」。「最初、SAGEは高度な自動化のベースで考案されたが、多くのオペレータがタスクを処理するためシステムに持ち込まれ、全自動化は、現実的ではなかった。同時に、「機械に注目し、人間を重視しなければならない」とも述べている³⁷。

手動システム情報に対する分析や迎撃命令の判断などは、オペレータに強く依存し、人的要素が依然として重要な部分であった。機械はもちろん必要である。コンピュータがなければ計算はスピードが不十分となり、戦闘での反撃は当然できない。しかし、SAGEでは人間が非常に重要な要素としてあり、何時、何処

³² J. C. R. Licklider, "The Truly SAGE System, or, Toward a Man-Machine System for Thinking, NAS-ARDC Special Study," 20 August 1957, MIT Archives

³³ J. C. R. Licklider, "Man-Computer Symbiosis," *IRE Transactions on Human Factors in Electronics HFE-1*, 1(1960): 4-11, 4.

³⁴ J. R. C. Licklider, *The Truly SAGE System* (Unpublished Manuscript, 1957, MIT Libraries): 1.

³⁵ J. R. C. Licklider, *The Truly SAGE System* (Unpublished Manuscript, 1957, MIT Libraries): 1.

³⁶ J. R. C. Licklider, "Man-Computer Symbiosis," *IRE Transactions on Human Factors in Electronics, HFE-1*, 1(1960): 4-11, 5.

³⁷ J. R. C. Licklider, "Man-Computer Symbiosis," *IRE Transactions on Human Factors in Electronics, HFE-1*, 1(1960): 4-11, 5-6.

で反撃するかの判断では、「人間-コンピュータ」の関係を全体的なシステムの構成要素として考える必要が認識されるようになったのである。これは、SAGEの開発から喚起されてきたものである。

第三章 対話型コンピュータの展開と個々の要素技術の出現

3.1 ARPA-IPTO 開発と軍事研究

アメリカ国防総省も、対話型コンピュータ技術の開発に強い興味を示すようになってくる。その原因は、SAGEの開発以来、人間とコンピュータの関係を新たに対話的に作ることは軍用情報システムの改善に大いに役に立つことができると分かってきたからである。

他方では、1957年10月4日、ソ連が初のスプートニク衛星打ち上げに成功すると、これがアメリカに新たな基礎科学研究熱を触発した。全般的な科学研究復興の波に乗って、国防総省長官ネール・マッケロイの出した覚書は、国防総省の新しい信念を表明していた。それは、即ち、基礎研究が、「現存の軍事力」に対比される「潜在的軍事力」（と彼は表現していた）の、不可欠の構成要素である。また、「突貫工事的にプログラムを進めていくより、手堅く着実な支援を与える方が、大きな成果をもたらすであろう」³⁸、という内容のものであった。こうした流れは、PSAC（大統領科学諮問委員会）³⁹を創設したことなどにもみとれる。

PSACは、最初の数年は、大統領に防衛科学技術に関する助言を与えることに専念した。大学の科学研究に対する軍の支援は、国防総省がやがて内部の組織を改造して、科学者グループの自治の要求に理解を示している人物たちに、以前より強い権限を与えたことから軌道に乗りはじめた。1958年の防衛組織再編成条例⁴⁰により、国防研究工学担当局（DDR&E）⁴¹という、単独の部署が新設された。局長は、国防総省のすべての研究を強力に推進するためのチーフ・スポークスマンであり、または、科学者グループとその取引先となる軍の担当者とのバッファー（緩衝装置）役を兼任していた。同じ条例により、ARPAが作られ、DDR&Eに置かれた。こうしてDDR&EとARPAが、国防総省による基礎研究支援の中心の一つとなっていった。

3.2 グラフィックス処理とポインティング・デバイスの開発

開発者ロバート・R・イブレット（Robert R. Everett）によれば、「ライト・ガンはコンピュータの入力装置である。この装置は光受信装置によって認識され、再びコンピュータへ送信する。コンピュータはこの位置を判断し、機能スイッ

³⁸ D・ディクソン（里深文彦等訳）『戦後アメリカと科学政策：科学超大国の政治構造』同文館、1988年、162頁。

³⁹ PSACはPresident's Science Advisory Committeeの略である。

⁴⁰ Public Law 85-325 of February 12, 1958

⁴¹ DDR&EはDirector of Defence Research and Engineering（国防研究工学担当局）の略である。

チ・ボタンによって指令を送り出す」ものであった⁴²。1950年代終わりごろから1960年代初期まで、最初のポインティング・デバイスとしてライト・ガンは、十数社が作ったシステムに採用されていた⁴³。しかし、ライト・ガンは使用目的が限定された専用の装置にすぎず、汎用入力装置としての機能はなかった。

しかし、入力装置は、入力すべきデータの性質に依存することは、ある意味では当然のことであった。また、コンピュータも、どんなデータをどのように処理するかという利用目的に従って、もつべき機能が決まる。こうして、データ—入力装置—コンピュータという関係の中で、入力装置の形態と機能が要求されてくる。1960年代初期頃から、コンピュータの開発者らは、人間とコンピュータの共生の実現に、「使用可能なグラフィックス入出力装置」⁴⁴の開発に注目が集まってくる。そして、処理すべきデータの性質に合わせて様々な入力装置が開発されてくる。しかし、同時にここには、実は入力装置を規定するもう一つの問題が含まれていた。それは、「データを入力する」ということであり、人間が入力するとすれば、人間—入力装置の関係から、入力装置の形態と機能が規定されてくるのである。

ライト・ガンを進化させたのは、MITの研究開発者であった。ライト・ガンは大きくて操作装置としては、表示装置の画面に照準を合わせるのに精度が低いという弱点があった。MITの研究者らはライト・ガンの原理を流用し、ペンのような形のライト・ペンの開発に入った⁴⁵。そして、1959年にMITのベンジャミン・M・ガーリー (Benjamin M. Gurley) が開発したことになっている⁴⁶。ライト・ガンからライト・ペンへの変化は、基本的には同じ機能製品上の改良として捉えられるが、ライト・ガンが操作上ポインティング (Pointing) しかできないことに対して、ライト・ペンは、さらに「選択」 (Selecting) や手書き (Free-Hand) などの機能利用が可能であった。

ライト・ペンの欠点を改良したものが、ランド・タブレットと言われるポインティング・デバイスであった。これを開発したのは、ランド (RAND) 社である。同社は、1960年代初期から ARPA-IPTO の資金援助でグラフィックスを介してコンピュータとのやり取りができる言語システム GRAIL (Graphic Input Language) の開発を行っていた⁴⁷。この目的から画面の表示に邪魔にならない、しかも手書き文字の入力もできる装置を追求していた。そして、1964年には、ランド・タ

⁴² Robert R. Everett, "Whirlwind," in Metropolis, J. Howlett and Gian-Carlo Rota, *A History of Computing in the Twentieth Century* (Academic Press, 1980), 365-384, 376.

⁴³ J. R. C. Licklider, "Man-Computer Symbiosis," *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-1, 1(1960): 4-11.

⁴⁴ Thomas O. Ellis & William L. Sibley, "On the Development of Equitable Graphic I/O," *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, Vol.HFE-8, no.3(1967): 15-17, 15.

⁴⁵ Benjamin M. Gurley, Charles E. Woodward, "Light-Pen Links Computer to Operator," *Electronics*, November 20 (1959): 85-87.

⁴⁶ Benjamin M. Gurley, Charles E. Woodward, "Light-Pen Links Computer to Operator," *Electronics*, November 20 (1959): 85-87.

⁴⁷ Tom O. Ellis, J. F. Heafner, W. L. Sibley, *The GRAIL Project: An Experiment in Man-Machine Communications*, Rand Documents, Document No: RM-5999-ARPA (1969): 26, RAND Corporation, Santa Monica CA, 1969.

ブレット (RAND Tablet) の開発に至る。これは、ライト・ペンと違って、ディスプレイの画面上に接触することはなく、片手で専用パッド上ペン (スティラス) のような装置を動かすだけで済んだ。しかも、ライト・ペンと同じく、手で直接に動かす装置であり、手書き入力にも向いているという利点があった。ランド・タブレットは、ペンのような装置の動きを感知できるパッドを通してコンピュータへ信号を送る仕組みとなっている⁴⁸。

これと似た方法で、特殊なデータをコンピュータに入力する方法としては、図面をトレーシング (Tracing) する方法もあった。トレーシングの目的は、CAD または CG に関連していたが、入力には、さらに精度の高いことが必要であった。そのために、細かい動きを制御しやすいパックやスティラスが、2D (平面) の入力装置として使われるようになった。この開発は、ランド・タブレットの後の時期で、1960年代後半から1970年代初期までのことであった。さらに、感知センサーで表示装置ディスプレイの表面に指差すことによって入力できるタッチ・スクリーンも開発されたが、指差す動作では、精度が限られる。そこで、その利用も特殊分野に限られざるを得なかった。

利用者にとって、コンピュータにデータを入力しようとする時に、ポインティング・デバイスがディスプレイ画面上で指示する位置をフィードバック (Feedback) する機能があれば、装置として使いやすい。このような機能の実現は、ハードウェアの改善のみに関わらず、むしろソフトウェア上のユーザ・インタフェースの構成手法にも関連している。しかし、1960年代のソフトウェアの開発では、こうしたユーザ・インタフェースに関わる問題は、まだ取り上げられなかった。

バッチ処理的な入力方法以外の新しい入力方法は、コンピュータ・ゲームでもみられた。ここでも、ポインティング・デバイスが求められる。1961年に作られたゲームの「スペース・ウォー」(Space War) は、最初のコンピュータ・ゲームと言われている。これは、DEC社の小型コンピュータPDP-1で開発されたものであった。当時のPDP-1に使われていた入出力装置は、ライト・ペンや、ランド・タブレット、ディスプレイ、磁気テープ等がつかわれていた。しかし、ゲーム中の「宇宙船」の動きを制御するには、X、Y方向の位置情報をリアルタイム的にコンピュータへ入力するには、必ずしも好都合ではなかった。こうして開発されたのがジョイスティックであった。ジョイスティックは、もともと初期の戦闘機やレーダ制御端末などに使われていたもので、これがコンピュータの入力装置として転用開発されたのである。

軍事以外に、このポインティング・デバイスがいち早くコンピュータと結びついて実用化されたものとしては、コンピュータ・ゲームがある。コンピュータ・ゲームは1962年にスティーブ・ラッセル (Steve Russell) らによって開発された「スペース・ウォー」が最初のものであった⁴⁹。このゲームを実行するには、PDP-1のような大型コンピュータが必要であった。ゲームの操作にはジョイスティックがポインティング・デバイスとして使われた。ただ、この形ではコンピュー

⁴⁸ M. R. Davis & T. O. Ellis, "The Rand Tablet: A Man-Machine Graphical Communication Device," *Proceedings-Fall Joint Computer* (1965): 1-3.

⁴⁹ J. M. Graetz, *The Origin of Spacewar*, *Decuscope*, Vol.1, no.1(April, 1962): 2-4.

タの利用が依然として専門家に限られていたので普及しなかった。

3.3 ワード編集のための「道具」

一般にタイプライタを中心にした入出力インタフェースの構成には、利用者と装置のコミュニケーションが、その機械的な構成に限られていた。ここから複雑な編集処理や高度な文書の作成には機能的に限界があった。

ワード編集作業を大きく変えたのが、ポインティング・デバイスの導入であった。ポインティング・デバイスを使えば、編集対象の位置指定はコマンド入力をしなくても画面に直接指示することで出来る。1965年スタンフォード大学によって開発された TVEDIT は、このようなシステムであった。TVEDIT はライト・ペンを使って、編集位置を指示することができた。この指示装置を使って、行や文字の間の位置指定はコマンドを入力しなくても出来るようになった。本来、コンピュータ・グラフィックスやコンピュータ補助設計のために開発されたタイプライタは、フリーハンドのようなデータ入力に適するという評価が定着し、手書きテキスト処理システムに採用されたのも、コンピュータ・グラフィックス処理技術の開発経験に、強く影響を受けたと言える⁵⁰。

初期のワード編集システムは、MT/ST にしろ、時分割システム上のワード編集・プログラムにしろ、もともとは出版物の写植作業へのコンピュータの利用が進められていた過程から開発されたものである⁵¹。その頃は、ワード編集はテキストを簡単に処理する機械とされていたイメージが強かった。しかし、ワールウィンド及び SAGE の開発以来、コンピュータが人間のパートナーであることが認識されるようになり、さらに人間とコンピュータの関係を知的なベースで発展させようという発想が生まれた。これは、単に編集作業を「簡単にした」だけではなく、文章編集全体の発展にも大きな影響を与えた。

エンゲルバートは、1963年、ARPA-IPTO の資金支援を受け、スタンフォード大学で、「増大研究センター」(Argumentation Research Center, ARC)⁵²を設立した。ここで彼は自分のアイデアを追求した。1968年に発表された論文には、ここで開発された NLS (oN-Line System) と言われていたシステムが述べられている⁵³。

この NLS は、対話型コンピュータを補助にして人間知能を増大する原理を解明するために開発されたものである。1968年12月9日には、サンフランシスコで開催されたコンピュータ合同会議 (Joint Computer Conference) において、エンゲルバートは彼とそのチームが作り上げた NLS のデモンストレーションを

⁵⁰ IBM 社『コンピュータ発達史—IBM 中心にして』日本 IBM 株式会社、1988年 282 頁。

⁵¹ IBM 社『コンピュータ発達史—IBM 中心にして』日本 IBM 株式会社、1988年 265 頁。

⁵² ARC は Argumentation Research Center の略である。

⁵³ Douglass Engelbart, "Study for the Development of Human Intellect Augmentation Techniques," final report prepared for NASA Langley Research Center under Contract NAS1-5904, Stanford Research Institute Augmentation Research Center, Menlo Park, CA. Engelbart Collection, Stanford University Archive (M 638, Box 1, Folder 16): 6-7.

行った。これは、大きな反響を及んだ。

ディスプレイ上で利用者が対話的に作業を行うには、操作者が注目している内容をコンピュータに指示することが必要である。これは、エンゲルバートらが最初に逢着した問題であった⁵⁴。また、文章(ワード)編集には、編集対象を指示し編集範囲内の文字を選択することも必要である。ここから、「指示」(Pointing)及び「選択」(Selecting)できるポインティング・デバイスの機能の導入が提起されてきた。

先に述べたエンゲルバートの発想はコンピュータ・グラフィックス処理技術の開発から影響を受けたものであった⁵⁵。前述のように、この頃には、ライト・ペンやジョイスティックなどのデバイスがポインティング・デバイスとして既に利用されていた。1963年にサザーランドによって開発されたスケッチパッドでは、グラフィックス処理の基本手法が確立していた。さらに、ポインティング・デバイスも、コマンド入力装置としての機能が確認されていた。これを発展させれば、いわゆる、プログラムを制御するコマンドの入力も、ポインティング・デバイスを利用して、画面に直接指すことによってコンピュータへ入力することが可能である。エンゲルバートは、このユーザ・インタフェースをワード編集に活かすことができると考えたのである。

当初、入力用のポインティング・デバイスとしては、ライト・ペン、ジョイスティック、タイプライタなどが検討された。しかし、これらは、いずれも「文章と構造化項目と対話型命令」⁵⁶を実行するのに最適のものではなかった。そこで、エンゲルバートらは、自分達で新たな装置の開発に向かわざるを得なかった。

まず開発されたのが、ニー・コントロール(Knee Control)であった。この装置は、机の裏に設置され、膝を上下左右に動かして画面上のポインタを制御できる装置で、操作者がキーボードから手を離さなくて済むものであった。首を水平に振ることによって制御する装置も実験された。これも、両手をキーボードから離さずに済むことができるという利点があったが、どの装置でも、どこかの筋肉に無理な負担がかかり、実用的ではなかった⁵⁷。

試行錯誤の結果、エンゲルバートらは、1965年に「X-Y位置指示装置」(X-Y Position Indication for Display Device)⁵⁸に到達した。これは、原理的には今日のマ

⁵⁴ Douglass Engelbart, *Augmenting Human Intellect: Experiments, Concepts, and Possibilities*, Summary Report under Contract AF 49(638)-1024, SRI Project 3578 for Air Force Office of Scientific Research, Stanford Research Institute, Menlo Park, CA, 34.

⁵⁵ William K. English, Douglass Engelbart & Melvyn L. Berman, "Display-Selection Techniques for Text Manipulation," *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-8: 1, 3(1967): 34-35.

⁵⁶ William K. English, Douglass Engelbart & Melvyn L. Berman, "Display-Selection Techniques for Text Manipulation," *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-8: 1, 3(1967): 5-15, 12.

⁵⁷ William K. English, Douglass Engelbart & Melvyn L. Berman, "Display-Selection Techniques for Text Manipulation," *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-8: 1, 3(1967): 5-15, 10.

⁵⁸ United States Patent, Douglass Engelbart, Position Indicator for Display Device, Patent Number 3541541

ウスの原型と言えるものである。この原型マウスは、90 度に垂直方向に設置されている二つの円盤の回転によって移動量が計測される。そして、移動量の変化を電子信号としてコンピュータへ伝送させることによってディスプレイ上のポインタの動きを制御するものである。

エンゲルバートらは、開発したマウスとそれまでに開発されたポインティング・デバイスの比較実験をしている。比較されたのは、ライト・ペン、ジョイスティック、ニー・コントロール装置である。操作者がキーボードから手を離して装置までの移動時間と装置を持ち上げてディスプレイ上の操作対象に選択作業が完了するまでの移動時間が測定された。この実験では、試作マウスが他の装置より速度と精度が優れていた⁵⁹。さらに重要なことは、タイプライタ、ライト・ペン、キーボードの移動キーは、「指示」(Pointing) 及び「選択」(Selecting) の操作が、マウスより不向きであることを示唆していた⁶⁰。

エンゲルバートらは、ほかの利用者の観察からも「原型マウスは、そのすばやく正確な画面選択機能が優れていること⁶¹を確認している。なお、マウスの呼称は、最初に使ったのは誰かということをはっきり知っている人間はいない」とエンゲルバートは述べている。

NLS の開発では、実用化されていないが、もう一つ注目される点がある。それは、画面の分割表示の手法であった。表示装置ディスプレイの画面をいくつかの区域に分けて、図形や文字等の表示内容を別々で表示させたのである。

3.4 アラン・ケイのフレックス・マシン開発の意図

コンピュータは如何にすれば使いやすくなるのか。この課題に対して、サザーランドやエンゲルバートらは、表示装置ディスプレイやポインティング・デバイスなどの入出力装置を利用し、表示装置の画面に直接アクセスできるユーザ・インタフェースの構築によって答を出した。ただ、彼らの技術的な関心の出発点は、データを如何に処理するかを目的にしたもので、プログラムを改良し、アプリケーションの作成に工夫することにあつた。しかし、この発想からの改良はコンピュータ利用者が専門家に限られているという状況を大きく変えることにはつながらなかった。

これに対して、コンピュータの利用が、コンピュータ専門家からさらに専門知識をもっていない一般技術者まで拡大される可能性が示されてきたことに伴い、それまで以上に「使いやすさ」の革新が求められるようになったのである。

アラン・ケイ (Alan Kay) は、このような流れに乗った技術者であった。彼が考えていたコンピュータの利用者とは、コンピュータ専門の知識を持っていな

⁵⁹ William K. English, Douglass Engelbart & Melvyn L. Berman, "Display-Selection Techniques for Text Manipulation," *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-8:1, (3 1967): 5-15, 10.

⁶⁰ William K. English, Douglass Engelbart & Melvyn L. Berman, "Display-Selection Techniques for Text Manipulation," *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-8:1, 3(1967): 5-15, 11.

⁶¹ William K. English, Douglass Engelbart & Melvyn L. Berman, "Display-Selection Techniques for Text Manipulation," *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-8:1, 3(1967): 5-15, 11.

い子供であった。初期のコンピュータは高価でしかも操作が複雑のため、専門オペレータ以外の方がコンピュータを触る機会は無かった。コンピュータを稼働させるのに欠かせない言語は、機械言語が主流であり、FORTRANのような高級言語も、構造上コンピュータ知識を持っていない一般利用者が、使えない状況であった。

1967年、アラン・ケイは、ハードウェアが容易に「解釈」する高級言語フレックス言語 (Flex Language) の開発から開始した⁶²。フレックス言語は、「対話型を念頭におき、ハードウェアを操作するためにグラフィックス的なユーザ・インタフェースを提供し、特にロジカル「Instance」や「Copy」機能、そしてそれをシミュレートする能力」を求めたものであった。この時のフレックス言語の発想が、1970年代に開発されたオブジェクト指向言語 Smalltalk のベースとなっていた。

アラン・ケイの開発は、フレックス言語に留まっていなかった。彼の最終的な目的は、持ち運べるパーソナル・コンピュータにあった。

そもそも、フレックス言語は、この目的のために開発されたものであった。この持ち運べるコンピュータフレックス・マシン (Flex Machine) については、彼の博士論文「ザ・リアクティブ・エンジン」(The Reactive Engine) で説明されている。フレックス・マシンは、最初からパーソナル・コンピュータとして構想していたものである。今日のワープロ専用機の大きさで、表示装置ディスプレイが搭載され、キーボードによるコマンド入力、タイプライタがポインティング・デバイスとして使われ、対話型なコマンド言語及びウィンドウ表示のようなユーザ・インタフェースを採用したのが、大きな特徴である⁶³。彼のフレックス・マシンでは、高解像度の表示装置を使うことを前提として、すべての操作は、指示装置タイプライタを使い、グラフィックス的なユーザ・インタフェースを介して行うのである。

しかし、フレックス・マシンの開発は、実際の製作段階に至らなかった。機能上の実験は、IBM1130 ディスプレイを利用して行われていた。アラン・ケイの言葉によれば「プログラム上の開発は成功だといえるが、ハードウェア的な表現が十分に足りなく一般利用できるものにならなかった」⁶⁴。

しかし、間もなく1970年代になると、アラン・ケイは、ゼロックス社のPARC研究所で、フレックス・マシンの発想に基づくワークステーション・アルトの開発に取り組むことになる⁶⁵。

⁶² Alan Kay, The reactive Engine, Ph.D. Thesis, University of Utah, Salt Lake City (1969), 69.

⁶³ Alan Kay, The reactive Engine, Ph.D. Thesis, University of Utah, Salt Lake City (1969)

⁶⁴ Alan Kay, The Early History of Smalltalk, Bergin, Jr., Thomas J. R. G. Gibson, Jr.; *History of Programming Languages-II* (Addison-Wesley, Reading, Mass), 511-579.

⁶⁵ K. N. King, "The History of Programming Languages," *Dr. Dobbs Journal of Software Tools for the Professional Programmer*, 18, 8(August 1993), 18.

第四章 ビットマップ：GUI 概念構築の基盤的な技術の生成

4.1 ARPA-IPTO 資金支援から PARC 企業資金への転換

1960年代終わりごろから1970年代初期までのゼロックス社は、新しい選択肢を選ばなければならないようになった。同社は、複写機で独占的な開発及び販売に成功を収め、オフィス機器の最大メーカーとして急速成長を実現し、1960年代を経てから1970年代初期にかけて、最高経営状況を迎えていた。1961年、複写機914の発売の初年度では、売上高は61百万ドル、1962年は104百万ドル、1968年は1,125百万ドルと鰻登りであった。しかし、ちょうどこの頃、コンピュータ技術の展開は、オフィスでの情報処理手法を根本的に変更するかもしれないというビジョンを示すようになってきた。

オフィス内の業務処理をすべてコンピュータで行うことを意味する「ペーパーレス・オフィス」(Paperless Office)という言葉が言われはじめた。ペーパーレス・オフィスとは、すべての情報を電子化し、コンピュータのベースで処理を行う、いわゆる文書の電子化という発想で、ゼロックス社の製品アーキテクチャと根本的に異なったものであった。当時のゼロックスの主力製品は主に複写機と文字処理専用機の二種類に分かれていた。いずれも専用のないし特殊なハードウェアベースの、プログラム不可能な製品であった。ゼロックス社にとっては、ペーパーレス、即ち、文章のコンピュータ処理は、一大脅威であったのである。

こうして、ゼロックス社は、次世代製品の技術基盤を模索するために、1970年にパロアルトにPARC (Palo Alto Research Center)を設置することになった⁶⁶。

しかし、1970年代からは、アメリカのマンスフィールド修正法が成立し、ベトナム戦争の濫費と政策は政府研究助成資金を削減させた。戦争に直接に関わる以外の研究への資金支援が切れ、一部の研究開発は終結させられるようになった。こうした社会変化の中で研究者が流動し始めた⁶⁷。

こうして、1960年代に活躍していた技術者らは、1970年代になると、新たな研究環境に移った。1970年にPARCが設立されると上記研究機関の技術者は続々PARC研究所へ入社し、1973年には50名に達成した。こうしてコンピュータの技術開発に主導的な役割を果たしている研究者らは、ARPA-IPTOからPARCへシフトしてきた。

4.2 ワークステーション・アルトの仕様の確立

PARCの一つの特徴は、研究者が自分達で実際のシステムを作り、それを日常の仕事に利用して基本となる考え方の妥当性を検討することが不可欠だと認識していたことである⁶⁸。開発しようとするコンピュータを同時に自社研究用にす

⁶⁶ George Pake, "Research at Xerox PARC: A Founder's Assessment," *IEEE Spectrum*, 10(1985): 54-75.

⁶⁷ Arthur Norberg, Judy O'Neill, & Kerry Freedman, *A History of the Information Processing Techniques of the Defense Advanced Research Projects Agency* (Minneapolis MN: Charles Barbbage Institute, 1992), 12-13.

⁶⁸ Chuck Thacker, "Personal distributed computing: the alto and ethernet hardware," in *History of Personal Workstations* (ACM Press, 1985), 265-290.

ることは、社内でも広く理解されていたと言われる。実際に使ってみることから「システムに高い機能を付与する能力は、ハードウェアの性能ではなく、ソフトウェアで決まることが明らかにされた」⁶⁹。

しかし、コンピュータのハードウェア自体も、当時は適切なものがなかったので自作せざるを得なかった。しかし、コンピュータの仕様に関しては、どのようなものを採用するのかに対して、研究者から様々な意見が提出された。PARCの技術者は、様々な研究プロジェクトから引き抜かれた人間が多く、それぞれが異なる発想をもっていた。これも、PARCの大きな特徴の一つであった。

ロバート・テイラーも、ARPA-IPTOを経験した一人であった。前述のように、ARPAのIPTOは、1960年代にコンピュータ開発に積極的に支援を行った軍用研究支援機構であり、初代部長J.C.R.リックライダー(J. C. R. Licklider)が設定した「人間とコンピュータのインタラクション」というビジョンに強く影響されていた。こうした環境から「小型の表示装置を搭載する対話型利用可能なコンピュータ」というのが、テイラーのコンピュータの理想像になっていた。

ロバート・テイラー(Robert Taylor)の「理想像」に近い提案をしたのが、アラン・ケイである。彼は、1971年にユタ大学から入社していた。彼も、既に述べたように1960年代に、ARPAの資金援助を受けてパーソナル・コンピュータ、フレックス・マシン(Flex Machine)の開発を行っていた。フレックス・マシンは、高解像度の表示装置をベースにし、グラフィックス及びポインティング・デバイスのタイプライタによる対話的に操作可能な小型コンピュータを目指していた。アラン・ケイは、とくに使いやすさを重視していた。当時のLOGO言語のようなグラフィックス的なユーザ・インタフェースを搭載し、子供でも操作可能なマシンを目指していたが、ケイのものは、実用程度のものにならず、失敗に終わっている。その原因は、アラン・ケイ自身の分析によれば、「十分なハードウェア表現力が欠けている、特にディスプレイ」に問題があった⁷⁰。

4.3 ビットマップ技術の開発

対話型コンピュータ・アルトの実現のための一つの重要な要は、グラフィックス表現できるハードウェアの開発であった。1960年の頃の表示装置ディスプレイは、ベクター・グラフィックス(Vector Graphics)、いわゆる直線や点、円などの幾何学的な図形要素によってグラフィックス・イメージを構成する方式が主流となっていた。これは、文字や幾何図形の表示はできるが、高速で動く複雑なグラフィックスの表示は、グラフィックスの表現に複雑なプログラムが必要とされるため、システムの構成も難しく高価になると見られていた。

1960年代の終わりごろには、もう一つの表示方式が有望視されてきた。それは、テレビに採用されている点の集まりとして表現するグラフィックスの手法であるラスタ・スキャン(Raster Scan)という方式である。ラスタ・スキャン式のディスプレイは、電子銃の光点を高速に移動させる走査線を用いて1枚の画

⁶⁹ Chuck Thacker, "Personal distributed computing: the alto and ethernet hardware," in *History of Personal Workstations* (ACM Press, 1985), 292.

⁷⁰ Alan Kay, "The Early History of Smalltalk," in Proc. ACM Conf. History of Programming Languages HOPL-II, Cambridge, Mass, published in SIGPLAN Notices 28(3), 3(1993)

像を表示する方式のディスプレイである。画面は走査線の並びでフレームとして表現される。スキャンしながら各点の色や輝度の情報をコンピュータからディスプレイに送って表示するものである。

このラスター・スキャン方式をコンピュータのディスプレイに採用しようという提案は 1966 年に、R. J. クラーク (R. J. Clark) が行っている。彼が申請した特許⁷¹によると、グラフィックスまたは文字のようなデータは、最小単位ピクセルで分解させ、ディスプレイの水平走査線を画面の上から下にスキャンさせて一つのピクセルで画像を表示することができる方法になっている。

しかし、高速に変化する画面の表示は、ピクセル単位で分割される情報の管理及び高速的に呼び出せる方法が必要である。この点に関しては、クラークの案では、示されていない。改良案として、1967 年にジョンソン (J. D. Johnson) が、ピクセル単位で分解された画面の情報の管理方法として、高速ランダム記憶装置に保存させ、表示したいデータを即時に読み出し、画面を再現する方法を提案した。

しかし、ジョンソンの案では、確かにデータの管理手法は提示されたが、実際に稼働できるハードウェアの保証までは実現できていなかった。

こうした状態で PARC 研究所のランプソンらは、ラスター・スキャン方式をワークステーション・アルトの表示装置に採用させようと考えていたが、まだ少なくとも二つの問題が解決されていなかった。(1) 解像度が高くなると、ピクセルのデータ量が多くなり、表示装置とランダム記憶装置の間にデータの伝送速度が遅くなり、画面の切り替えが遅くなること、そしてもう一つは (2) ウィンドウやメニューのような部分的に変化する画面の表示は、どうすれば処理できるのかである。これに対して、ランプソンらが開発した手法は、高解像度の表示を実現できるランダム記憶装置及びデータの伝送を高速的に制御するハードウェア及びソフトウェアを一括して構成するものであった。ランプソンが申請した特許によると、ワークステーション・アルトのディスプレイは、画面の表示データをメインメモリから直接書き換えるようになっていた。これはメモリ内のフォントでビットマップへ文字を描くものであった。さらに、ウィンドウやメニューなどのような表示には、画面を「分割」し、変化した部分だけを記録し、変化なしの部分に従来のデータを再利用するという方法が開発され、グラフィックス・ユーザ・インタフェースの表示に高速化が可能になった。この機能は、後になってダン・インゴールズ (Dan Ingalls) の開発によって、より汎用性のあるビットビルト (BitBLT, Bit-Block-Transfer)⁷²となった。

⁷¹ United States Patent, R. J. Clark, Character Generator for Simultaneous Display of Separate Character Patterns on a Plurality of Display Devices, Patent Number 3426344

⁷² 現在の一般的な教科書や用語辞典では下記のように記述されている、「メインメモリとグラフィックスメモリの間で、画面表示に使うビットマップイメージをコピーすること。また、OS やグラフィックスカードなどが用意する、そのような機能や API のこと。OS などが用意する bitblt 機能は、イメージのコピーと同時にイメージの拡大縮小、他のイメージとの AND 演算、OR 演算など論理演算処理が可能な場合もある。コンピュータのグラフィックス処理において、bitblt は重要な処理の一つで、グラフィックスアクセラレータには bitblt を高速に実行するために専用のハードウェアを用意していること

4.4 Smalltalk での GUI の試み

コンピュータが「メディアに変わる」のに必要とされたものに、もう一つ、プログラム言語の開発があった。これが、GUI の実現のもう一つの技術的背景となった。

ワークステーション・アルトは、使いやすさを最大の課題として追求されていた。アラン・ケイは、子供のように専門知識を持っていない利用者でもうまく操作できることを目標していた。そのために、アラン・ケイは 1971 年から PARC 内で学習研究グループを作り、子供が使えるプログラムの開発にも取り組んでいた。

ここから、「プログラムは、オブジェクトの代わりにそれを表すシンボルを使い、ループや再帰が利用でき、解法を画像化して選択できるようにしたもの的大量に必要とし、対話による発見や、自分の考えでのバグ取りもできなくてはいけない」と、従来のものとは違うプログラムをイメージした⁷³。

従来のプログラムが子供に使えない原因は、プログラムの構成にあるとアラン・ケイは考えた。彼は、現実の世界のモノとモノ同士の関係をそのままソフトウェアで表現することによって、現実世界の仕組みをコンピュータ上に再現しようとした。現実に近い形でシステム構造を表すことによって、その構造がより直感的で分かりやすくなると考えたのである。この発想で開発されたのが、Smalltalk 言語であった。

最初のバージョン Smalltalk-72 は 1972 年に完成されている。Smalltalk は、従来の機能を中心としたプログラム構造を変え、モノ（オブジェクト）が中心となって構成されていた。個々のオブジェクトはその役割を果たすのに必要なデータ（属性）と手続き（メソッド）を内部にもっている。この属性とメソッドをひとつに纏めた構造がカプセル化と呼ばれたものである。

そして、このプログラム言語は、デバッガ、オブジェクト指向の仮想記憶、エディタ、画面管理機能、ユーザ・インタフェース機能によって構成されていた。「オブジェクト」(Object) と「クラス」(Class) を基本とし、各オブジェクトは、オブジェクトを操作する手続きの集まりであるクラスを持つようになっていた。オブジェクトに手続きが適用されると、その手続きの名前は対応する実行コードを見つけるためにオブジェクトのクラスで照合される仕組みになっていた。

こうして作られた Smalltalk は、従来のプログラムに比べ、直感的にプログラムが作成できる言語であった。アラン・ケイの研究グループは、1972 年～1975 年間に数百名の子供を研究室に招待し、開発したシステムを実際に使って結果を観察している。

Smalltalk の設計を見てみると、ここには、それまでに実験されたウィンドウ表示やメニューなどのユーザ・インタフェース上の手法が取り込まれていること

が多い。このため、bitblt はグラフィックス処理性能の指標の 1 つとして用いられる。」(情報処理学会『情報処理ハンドブック』オーム社、(1995 年)、1012 頁)

⁷³ Alan Kay & Adele Goldberg, "Personal Dynamic Media," *IEEE Computer*, 10(3): 31-41.

が分かる。ウィンドウ表示は、狭い表示領域が複数の画像の表示に使われていた。これは、1960年代に、エンゲルバートの NLS で利用されていたものである。ただ、Smalltalk のウィンドウ表示には、二種類あった。画面を切り替えられるウィンドウと画面を分割できるウィンドウである。メニューは、ウィンドウの補助領域に表示されるか、マウスのカーソルの下に、ポップアップ・メニューとしても可能になっていた。即ち、Smalltalk は、メニューやウィンドウなどの機能を利用した最初のシステムということが出来る。そして、これらの操作には、ポインティング・デバイスとしてマウスが利用されていた。マウスが選ばれたのは、ジョイスティック、キーボード、ライト・ペンと比べて、精度と速さに優れていたからである。これは、イングリッシュなどが比較実験をした結果に基づいていた⁷⁴。

Smalltalk のようなオブジェクト指向言語は、GUI を作るのに非常に適していた。それは、ウィンドウ、メニュー、アイコンなどが「モノ」として認識しやすく、オブジェクトに対応させて考えることができるからである。GUI 上のそれぞれの操作（イベントとアクション）も、オブジェクトへのメッセージとメソッドに対応して考えられる。例えば、「ボタンをクリックする」ということが「ウィンドウをアイコン化する」というアクションを引き起こすことに繋がられるのである。1980年代以降になると、オブジェクト手法は、様々な GUI の開発に用いられてくる。アプリケーションを Model (ビジネスロジック)、View (プレゼンテーション)、Controller (制御部) に分けてそれぞれ独立して開発する MVC モデルという構築手法が提案され、これが GUI の分野に大きく役に立つようになった。

第五章 デスクトップ概念の出現と GUI の構築

5.1 アルトのユーザ・インタフェースの限界とワード編集の異変

ワークステーション・アルトの開発目的は、もともと PARC の社内で使用することにあった。機能的にはにあったが、オフィスの業務処理として、諸種の形式のデータに対応できる統合的なツールにしていくことであった。即ち、テキストや、グラフィックス、表、そして数式といった全てのデータを文章内で編集できるようにすることであった⁷⁵。アルトが誕生するまでのコンピュータでは、それぞれのデータを個別のアプリケーションで編集し、切り貼りする方法が採用されていた。これをアルトの開発によって、統合的に操作可能なシステムを目指したのである。

文字や、グラフィックス、電子メール等の種々のデータを、一台のコンピュータでまとめて処理するには、ハードウェア的な処理能力が要求されいながら、それぞれのデータを処理するソフトウェアの一貫性、つまり、どのソフトでも

⁷⁴ Stuart K. Card, William K. English, & Betty J. Burr, "Evaluation of Mouse, Rate-Controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection on CRT," *Ergonomics*, 21(1978): 601-613.

⁷⁵ David Canfield Smith, Charles Irby, and Ralph Kimball, "The Star User Interface: An Overview," *National Computer Conference*, (1982): 515-528.

同じように操作が行われることが要求される。例えば、一つの「削除」命令によって、データの種類に依存せずに削除できなければならない。データ表現を一貫させれば、二つのアプリケーションがお互いの出力を受けられるように、同種のデータを扱えることを意味する。しかし、その目標の達成には、技術上の困難があった。そして、アルトでは、この目標は達成できなかった。アルトの開発者らは「譲歩したくなかった」⁷⁶としているが、結果的に表現能力の限界から「統合」と「一貫性」が欠けることになった。

PARC 研究所を離れて、全体的には、1970年代に入るとワード編集システムの上で大きな躍進があった。それは、表示装置を搭載するスタンド・アローン式のワード編集専用機の登場である。これを開発したのは、レキシトロン (Lexitron) 社とビデック (Vydec) 社で、1971年のことであった。レキシトロン社のVT911にはIBM製品に近い性能を持つ印字装置が搭載されていた。同年、CPT社の最初のスタンド・アローンワード・システム、WANG社の印刷装置を稼働できるマルチ・ターミナル・システムが発表された。これらの会社は、やがてワード編集業界で支配するようになり、ワード編集システムの技術開発をめぐって競争がますます激しくなっていた。

しかし、こうした新しい動向が出ていたにもかかわらず、ゼロックス社は、1974年終わりごろでも、依然として従来のハードウェア体系を継続する方針をとっており、タイプライタを搭載する800シリーズ・ワード編集専用機を発表した。この800シリーズの時点では、競争相手のIBM社の専用機より2倍速かったダイヤプロ (Diablo Systems) 社 (1972年ゼロックス社に買収された) が開発した改良後の印字装置がこれに採用されていた。この印字装置では、デージーホイール/プリントホイール (Daisy Wheel/Print Wheel) 技術が採用されており、IBMタイプライタに採用されていたゴルフボール (Golf Ball) 装置より優れていた⁷⁷。確かにプリントホイール (Print wheel) は、ゼロックス社にとってはこの十年間の中で最も重要な技術であり、ビジネスに広範囲な影響を与えた。優れた速度と魅力的な販売価格によって、800シリーズは、1975年のワード編集に新しい意義をもたらしたが、この頃、ゼロックス社は、自社の製品に匹敵できる製品が他に存在していないという自信をもっていた⁷⁸。

しかし、表示装置を搭載するワード編集専用機の登場は、ゼロックス800シリーズの優位性を薄くさせる可能性を意味していた。にもかかわらず、ゼロックス社の管理層は、PARCの研究成果を思い出さなかった。ゼロックス社の当時の経営層はコンピュータ・ベースのワード編集専用機の出現は時期尚早だと判断し、目の前の市場しか見えなかったと言える状態であった。ゼロックス社は、「未来オフィスへの展開の流れは、革新的な変化ではなく、漸進的な進化である」と断定し、従来のアーキテクチャに依存する進化の展開路線をとることにして

⁷⁶ Adele Goldberg, *History of Personal Workstation* (ACM Press, 1988), 360.

⁷⁷ Norman Meyrowitz and Andries Van Dam, "Interactive Editing Systems: Part 1," *Computer Surveys*, 14 (1982): 333.

⁷⁸ "Xerox Tries to Capture Some IBM Territory; Xerox 800 Electronic Typing System," *Business Week*, 10(1974): 28-29.

いた⁷⁹。

ところで、ゼロックス社の 800 シリーズは処理速度の面では、確かに利点があったが、IBM 社の製品と比べると、二つの欠点があった。ひとつは、デージーホイール (Daisy Wheel) 構造が、IBM 社のゴルフボール (Golf ball) 構造より、製造上のコストが高いという問題である。もうひとつは、ハイエンド・ラインアップの製品は、IBM 社が大量生産体制を備えていることとは対照的に、ゼロックス社は大量生産に対応できない状態であった⁸⁰。

1976 年には数千台の 800 シリーズが販売されたが、これは期待より少なかった。ゼロックス社は、緊急対策として表示装置を搭載する 850 を開発した。しかし、850 は従来の 800 シリーズと同じく、プログラム不可能なクローズなハードウェアベースで開発されたもので、対応できるデータの種類や形式などが限られていた。ワード編集の市場に求められていたのは、ひとつの文書の中であらゆるデータを編集処理できる統合的なシステムであり、いわゆる「統合ワード処理システム」⁸¹であった。ゼロックス社の開発能力と方向は、市場の動向を反映していなかった。

ゼロックス社の経営層が、ワークステーション・アルトを商品化にするのに積極性が無かったのは、先行研究では、ワークステーション・アルトのコストが高かったとされてきた。しかし、PARC 研究所の技術者すべてにコスト意識がまったくなかった訳でもなかった。1975 年春、コンピュータ・システム・言語 (CSL) 部のジョン・エレンビー (John Elenby) が、ワークステーション・アルトの設計を作り直し、コンピュータのベースでのワード編集システムの製品ラインを作ろうとしていた。この提案は、ゼロックス社の管理層に却下されたという局面もあった。管理層にコストを低減させようという努力がなかったところに問題があったと言うべきである。

ゼロックス社は、1976 年によく、PARC 研究所で開発された技術を商品化にする可能性を検討する必要性を感じ始め、アルトをベースにした次世代のワードプロセッシング・システムの開発を担当する部門 SDD (システム開発部) を社内に設置した。これがワークステーション・スター計画の出発点となった⁸²。

5.2 「デスクトップ」概念の導入—ワークステーション・スターの開発

ゼロックス社は、こうした発想から複写機以外の製品開発に乗り出し、1973 年、その担当にボブ・ポーターを任命した。これから、コンピュータをベースにしたオフィス処理技術を模索しはじめた。1976 年には、ワークステーション・アルトのベースで統合的なワード編集システムを目指す「ジェイナズ・プロジ

⁷⁹ Douglass K. Smith & Robert C. Alexander, *Fumbling the Future: How Xerox Invented, then Ignored the First Personal Computer* (Universe.com, 1999), 170-171.

⁸⁰ Norman Meyrowitz and Andries Van Dam, "Interactive Editing Systems: Part1," *Computer Surveys*, 14 (1982), 333.

⁸¹ Integrated Word Processing System

⁸² 例えば、Jeff Johnson, Teresa L. Roberts, William Verplank, David C. Smith, Charles Irby, Marian Beard, Kevin Mackey, "The Xerox Star: A Retrospective," *IEEE Computer*, Vol. 22, No. 9: 11-26, 9(1989): 25-26.

エクト」(Janus Project)を立ち上げた。1977年、プロジェクト名は「Janus」からスター(Star)に変更された。スター・プロジェクトは、二つのグループで構成されていた。PARC研究所にあったグループはシステムとプログラム言語の開発を担当し、ゼロックス本社にあったグループはアプリケーションの開発を担当した。

スターの開発者は、最初にアルトで開発されたユーザ・インタフェースの構成を継承しようとしていた。しかし、アルトに搭載されていたタイリング・ウィンドウ、ポップアップ・メニュー、マウス等の機能は、アルトのOSではなく、Smalltalk言語環境で実現されていた。Smalltalkは、プログラムを作成する開発ツールに過ぎず、そのままではスターのOSにはならないと判断し、Smalltalk言語環境の描画からウィンドウやアイコン等の要素技術までのすべてを、スターで再構築することが必要になった⁸³。

しかし、アルトの開発は、高解像度の表示装置のベースでグラフィックス的なユーザ・インタフェースの構築に検証する目的にあった。他方、スターは、ゼロックス社の次世代商品に位置づけられていた。ゼロックス社は、PARCのこれまでの研究成果を「オフィス情報システム」の方針に沿って製品化にしようとしていたのであった⁸⁴。

まず、前述のように、「ユーザ技術」の研究からは、スターのユーザ・インタフェースを「視覚」(ビジュアル)のベースで作ろうのが決められていた。オフィス内のファイルや文献資料などは、どういう形でコンピュータのユーザ・インタフェース上で直感的に表現させるのかが検討された。開発者のD.C. スミス(David Canfield Smith)が、自分の修士論文⁸⁵で考案していた「アイコン」という手法を提案した⁸⁶。これに基づいて、文書、フォルダ、ドローファイル、アプリケーションなどをすべてアイコン化し、一連の比較実験⁸⁷によって、分かりやすくなるアイコンの外観(形状)が研究された。

こうして、視覚的に操作性のよさが追求されていった他に、ワークステーション・スターにおけるユーザ・インタフェースの構成の中心的な特徴は、従来のシステムと違い、デスクトップの導入にあった。どのようにして、デスクトップという概念がつけられたのかに関しては、先行研究がなくもないが、明確には説明できていない。デスクトップの発想に至った基盤は、前述の「オフィスでの作業」に対する一連の研究からであったと、筆者は考える。ここから、オ

⁸³ William L. Bewley, ed, *Human Factors Testing in the Design of Xerox 8010 Star Office Workstation*, Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (ACM Press, 1983), 70-75.

⁸⁴ Ibid.

⁸⁵ David C. Smith *Pygmalion, A Computer Program to Model and Simulate Creative Thought*, Computer Science Department of Stanford University, 1975, Doctoral Thesis

⁸⁶ William L. Bewley, ed, *Human Factors Testing in the Design of Xerox 8010 Star Office Workstation*, Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (ACM Press, 1983), 72.

⁸⁷ William L. Bewley, ed, *Human Factors Testing in the Design of Xerox 8010 Star Office Workstation*, Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (ACM Press, 1983), 70-75.

フィスにおける情報処理の手順を特化したモデルへの発想につながったと考えるのが無理のないように思われる。これに、PARC での Smalltalk 言語の開発に見られた実世界をシミュレートする手法からも、ヒントを受けていると見られる。Smalltalk の特徴は、現実の実世界をオブジェクトで表現させる技法にあった。オブジェクトは、カプセル化された表現（状態）と、そのオブジェクトに適用できるメッセージの集合（操作あるいは手続き）によって構成されている。オフィス内の業務処理は、同じくそれぞれのオブジェクトとして見る事ができる。ここから、それぞれのオブジェクトの構成や配置などをまとめる空間的な構成としてデスクトップを発想することは、そんなに大きな飛躍ではなからう⁸⁸。

開発者らが、

すべての利用者がスターの画面で最初に目にするのがデスクトップである。これは、家具や備品があるオフィスの机の上を連想させるものである。デスクトップは、利用者が現在取り込んでいるプロジェクトや利用可能な資源がある作業環境を表現している。

または、

デスクトップは物理的なオフィスと似通った環境を実現するための基本的な技法である。アイコンは、対応する物理的な実体物を目に見えはっきりした形で具現化したものである。スターの利用者は、デスクトップ上のオブジェクトを物理的なものと捉えることができる。アイコンをあちこちに動かして、デスクトップ上の配置を望み通りに変えることができる。または、実際の机の場合と同じように文書をデスクトップに置いたままにしてもよいし、あるいはファイルでもよい⁸⁹

と述べているように、オフィス業務（情報処理）を行う一連の作業過程を、コンピュータの表示画面に再構成した意図は、明確に見てとれる。先述の「オフィス作業研究」の直接的結果といってもよからう。

5.3 GUI 技術の移転：ワークステーションからパーソナル・コンピュータへ

先行研究では、「アップル社は、ゼロックスからアルトを盗んでリサとして売り出した」⁹⁰とされていることも無理のないことではある。しかし、本研究では、そうした先行研究は、リサの開発者マイケル・モーリッツが指摘したように「開

⁸⁸ William L. Bewley, ed, *Human Factors Testing in the Design of Xerox 8010 Star Office Workstation, Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems* (ACM Press, 1983), 70-75.

⁸⁹ Jeff Johnson, Teresa L. Roberts, William Verplank, David C. Smith, Charles Irby, Marian Beard, Kevin Mackey, "The Xerox Star: A Retrospective," *IEEE Computer*, Vol. 22, No. 9:11-26, 9(1989): 28-29 (日本語版：ジェフ・ジョンソン等：「栄光の Xerox Star: 開発者自身がつづる回想録」『月刊日経バイト』1990年3月号, 320-352頁)

⁹⁰ Ibid.

発の困難を過小評価している」⁹¹と主張したい。

GUIの一つの特徴でもある、いわゆるルック・アンド・フィール (Look & Feel) についても、PARC 研究所の技術者ディレクター、ジョージ・ペイクは、「ほかの技術と違って、簡単に真似される。彼ら (アップル社) は、「それ (GUI) が可能だと知って、瞬く間にそれを開発してしまった」と、GUI のルック・アンド・フィールの部分は簡単に真似されると認めている。しかし、これだけでアップル社の GUI はワークステーション・アルトからもらったものであると断言するのは早計である。

前述のように、GUI の構成の中核的な技術は描画手法であった。アルトの GUI では、Smalltalk 言語に使われていた BitBlt と言われている技術によって実現されていた⁹²。アップル社は、この方式で複雑な画面を表示する時には、大量のメモリが必要になるという弱点があると指摘している。「BitBlt は、操作することができるイメージのタイプに制限がある。特に、長方形のエリアの表示が抑制されているため、オーバーラップできるウィンドウの構築ができないのである」⁹³。

アップル社が、この問題を解決するために開発したのが、独自の描画技術クイック・ドロー (QuickDraw) であった。クイック・ドローは、アップル社の技術者ビル・アトキンソンの修士論文から構想されたものである。その目的は、描画処理能力を改良することにあつた。クイック・ドローでは、画面上の任意図形をレジョン (Region) として定義され、複数の逆点 (Inversion Points) によって形状が規定されるものである。例えば、ある図形の変化前後をビットマップ方式で記憶装置に保存させるときに、保存されている変化前後の図形で、変化した部分のみを再表示させる。こうすると、記憶装置に保存が必要になる情報量が減少され、画面上での変化の表示が高速になる。または、メモリ容量の少ないパーソナル・コンピュータでも、GUI の構築が可能になる。

リサの GUI は、単に描画方法だけでなく、ユーザ・インタフェース上の表現の多くが、新たに作られている。アップル社の当時の社長、スティーブ・ジョブズは、「多くの新しい概念を作り上げた」⁹⁴と述べている。確かにリサの GUI は、アルトの GUI と同じものではなかった。

アルトの GUI がミニ・コンピュータのベースで構築されていることに対して、リサは、マイクロプロセッサのベースとなっている。リサは、中央演算処理能力は比較的低いとされていたが、そのためリサの GUI 構築は、独自の描画技術クイック・ドローによって実現されていた。

個々の構成要素の点でも、リサでは、革新された部分が多かった。すでに述べ

⁹¹ マイケル・モーリッツ (青木栄一訳) 『アメリカン・ドリーム—アップル・コンピュータを創った男たち!』二見書房、1985年、33頁。

⁹² L. Tesler, "The Smalltalk Environment," *BYTE*, Vol.6, No.8, 8(1981): 90.

⁹³ United States Patent, Method and Apparatus for Image Compression and Manipulation, Patent Number 4,622,545, Filed Sep. 30, 1982, Date of Patent Nov. 11, 1986, Inventor: William D. Atkinson

⁹⁴ 齊藤由多加『マキントッシュ誕生の真実』(株)毎日コミュニケーションズ、2003年、23頁。

たように、PARC では、ポインティング・デバイスに対する精度や速度などを「人間工学」の視点から比較を行った結果、ポインティング・デバイスでは、ボタンが少ない方が良いことはわかっていたが、3 ボタンのマウスが採用されていた。他方、アップル社は、ワンボタンのマウスを開発している。さらに、当時の表示装置の画面は比較的小さくて、ウィンドウ機能を使って、複数のウィンドウを同時に表示させると、画面が混乱する恐れがあった。そこで、使わない時に隠すことができるプルダウン・メニュー (Pull-down Menu) が考案された。プルダウン・メニューとワンボタンのマウスによって、コンピュータ利用者が学習すべきコマンド入力方法を最小限に抑えることができた。この改良から、GUI の定義にプルダウン・メニューを強調し、WIMP をウィンドウ、アイコン、マウス及びプルダウン・メニューとする説も生まれることになった。

リサで最も大きく革新されたのは、ウィンドウ表示であった。アルトのウィンドウは、タイリング式で自動的にサイズを変更できなかった。ウィンドウのサイズを変更しようとしたら、ウィンドウ内の内容を変更しなければならなかった。ウィンドウの移動も、コマンドによって座標入力によって行われた。これに対してリサでは、クイック・ドロウの採用によって、メモリ空間の使用効率が向上し、ウィンドウを重ねられるオーバーラッピング・ウィンドウ (Over-Lapping Window) が初めて実現されるようになった。

こうしたリサでの GUI の革新的な変化を基盤にして、アップル社は、新しい形態のパーソナル・コンピュータを提示したと位置づけられよう。PARC のアルトとスターは、電子メール、ネットワーク、文書共有、オブジェクト指向開発環境等の機能をオフィス処理に定着させようとしていたが、アップル社のリサは、安価なパーソナル・コンピュータを、マイクロプロセッサのベースで、アセンブリ言語や Pascal 言語を使い、個人利用者のための、つまりは、専門知識が必要ないコンピュータを提案したのである。

GUI の発展を歴史に見ると、アップル社の独自開発が重要な役割を果たしたと見ることができる。そして、以上のように、アップル社の GUI は、単なるアルトの模倣ではなく、独自の技術開発が加えて成功したものと言える。

第六章 パーソナル・コンピュータにおける GUI の展開

マイクロプロセッサをベースにしたパーソナル・コンピュータは、1975 年に開発されたアルテア 8080 から、1977 年のアップル社のアップル II 誕生までに、操作手法として機械言語から汎用 OS への転換が実現され、これと共に道具としての実用性も示されるようになった。1981 年、IBM 社の参入で、パーソナル・コンピュータがさらにビジネス・ツールとして確立された。そこで重要な役割を果たしたのは、VisiCalc や WordStar, Lotus1-2-3 等のアプリケーション・ソフトウェアであった。こうしてパーソナル・コンピュータの発展では、ハードウェア上、アップル社と IBM 社の 2 極競争の局面が形成された。しかし、GUI を追求していく過程では、これまでの業界構成が破壊され、さらなる激しい再編が行われるようになった。

アップル社は、GUI の性能を最大限作り出すために GUI の開発をハードウェ

アとソフトウェア上統合的に行った。GUIの性能が評価されたが、他方ではハードウェアが高価で、さらに、クローズ的な弱点が残された。但し、アップル社は、GUIの優位性に依拠し、レーザープリンタやPageMaker等の業務用アプリケーション等の連携で「卓上出版」という新しい利用分野を創出したことによって、市場に強い競争力を維持していた。しかし、1980年代後半になると高価路線を取っていたアップル社は安価なIBM及び互換機からの圧力を受け、優位性が無くなった。こうして1995年頃になると、アップル社は互換機路線への転換を試みたが、市場の拡大に繋がらず、独自のハードウェア構成に戻った。

IBM及び互換機のGUI開発は、1982年の多様なOSが併存していた状態から開始された。それぞれのメーカーが既存のOSにGUI機能を加える手法を取っていたが、実用程度になったものが少なく、GUIの開発から撤退した。結果としては、1980年代終わり頃になるとアップル社およびIBM社とマイクロソフト社共同で開発されていたOS/2の二つに集中されるようになったが、1990年代になるとIBM社とマイクロソフト社の間に開発方針をめぐって対立が生じ、後になって共同開発は破綻し、IBM社のOS/2とマイクロソフト社とのMS-Windowsの二つに分かれていった。マイクロソフト社は、マイクロプロセッサを主導するインテル社との連携を取り、互換機のGUI開発におけるMS-Windowsの主導権を確立することを戦略として重視し、GUIの性能の向上に集中していた。しかし、IBM社は、競争に自社のハードウェア主導権の確立を重視し、OS/2の開発は大型コンピュータとの連携機能を考慮しながら進んでいた。1990年代以降に開発されたOS/2が性能上評価されたが、GUIの市場がマイクロソフト社のMS-Windowsに先に取りられ、1995年MS-Windows95が発売された時点では、パーソナル・コンピュータに使われていたGUIが、マイクロソフト社の製品が80%以上占めていた状態となった。こうして、IBM及び互換機のGUI開発は、構成手法の変換と開発組織上の再構成、言わば二重の要因を抱え、10年以上を経て、ようやく普及段階に至ったのである。

第七章 結論

GUIの発展を通史的に検討してきた。これから、なお、二つのことを検討しておきたい。ひとつは、GUIからコンピュータの歴史を見る。どのようなことが指摘できるということである。もうひとつは、GUIの歴史を通史的に見た場合、検討すべき課題があるかということである。

まず、第一の問題から見よう。従来のコンピュータ発展史研究は、主に中央演算処理装置や記憶装置などの中核的な技術要素を研究対象にし、IBM製品の分類しかたによって行われていた。このような研究では、コンピュータの部分的な側面の発展が明らかにされてきたが、コンピュータのあり方に影響を与えているのは、決してこれらの中核的な要素だけではない。

(1) GUIの発展史の研究からは、ユーザ・インタフェースの展開がコンピュータ全体のあり方に非常に大きな影響を与えたことが分かる。初期のコンピュータは軍用のために開発され、機能的に限定されていたものと言ってもよい。しかし、1950年代終わり頃から、人間とコンピュータの間に対話的なユーザ・イ

インタフェースが求められ、その結果、対話的な処理機能がコンピュータに組み込まれるようになった。こうして、コンピュータが、初期の単純な計算機械から人間と対話的にコミュニケーションすることができる機械となった。さらに GUI の登場によって、コンピュータの利用範囲が拡大され、人間社会のあらゆる分野における情報処理のパートナーとなった。こうした変化は、GUI を追求する過程から発生したものだと考えられる。

(2) GUI の発展は新しいカテゴリー、新しいクラスのコンピュータや新しい応用分野の創出に大きな役割を果たしたと考えられる。初期のコンピュータの利用者は、コンピュータの専門家に限られていた。これは、単にコンピュータが専門的で学ぶのが困難だっただけでなく、当時のコンピュータが、それぞれ独自のハードウェアやソフトウェアなどが使われ、コンピュータの利用が一般的ではなかったからである。しかし、コンピュータに対話的な処理機能を与えようという目的で開始された GUI の開発によって、専門知識がなくてもコンピュータの操作ができるようになった。さらに異なるハードウェアやソフトウェアの操作の仕方が GUI によって統一され、コンピュータは一般利用者でも操作できるようになった。こうして、個人で占有し、一人でコントロールするカテゴリーのコンピュータ、言わばパーソナル・コンピュータが確立されるようになったのである。さらに、GUI の導入によって新しい分野が創出された。アップル社などは、GUI の WYSIWYG 機能を生かし、「卓上出版」という分野を提案し、大きな成功を収めた。

しかし、GUI が、どのようにコンピュータと結合するかは、異なる発展段階、異なるコンピュータ技術で、生み出された結果は異なる。アップル社は、GUI の導入に先頭に立ったが、出来上がったハードウェアに、クローズ的な欠点があり、普及に大きな支障となっていた。IBM 及び互換機では、GUI の導入に時間がかかった。但し、コンピュータ自身は安価なハードウェアと豊富な応用ソフトウェアを武器にして、普及が急速に実現された。GUI は、コンピュータの普及に大きな役割を果たしたと言っても、その役割は異なったハードウェア環境では異なった性格が見える。コンピュータの発展は、決して中央演算処理装置や記憶装置等の中核的な要素だけでなく、コンピュータが人間によってどのように使われてきたかの、いわば人間とコンピュータがどのようなユーザ・インタフェースで結ばれているかも重要な因子であった。

次に、GUI を通史的に見た場合、その歴史を全体的に検討して見る。GUI の史的な研究では、人間（利用者）とコンピュータのあり方を左右するユーザ・インタフェースに、グラフィックスというデータが如何に導入されたかを解明する目的で、従来のコンピュータ史の研究で注目されていなかった側面を検討してきた。GUI の開発は、1940 年代終わり頃から、リアルタイム処理機能がコンピュータに組み込まれ、オペレータとコンピュータの間に対話的なコミュニケーション機能が求められた時点から開始された。ライト・ガン、表示装置ディスプレイ及びグラフィックスというデータ形式は、対話機能を搭載する「新しいスタイル」のコンピュータを追求していく過程から作られたのである。1960 年代の終わりまでに、GUI の開発は、このような「新しいスタイル」のコンピュータを求めていたアメリカ国防総省から直接の開発支援を受け、多様なポイ

ンティング・デバイスを利用し、グラフィックスのベースで人間とコンピュータの間に対話的にコミュニケーションできる技術の開発が試みられたのである。この段階までの GUI の発展は、軍用という特殊的な開発環境のなかで進行され、ハードウェアまたはソフトウェア上機能的な拡張に留まっていた。しかし、1970年代以降になると、半導体技術の出現によってもたらされた中央演算処理装置及び記憶装置技術の飛躍的な発展からは、GUI が、コンピュータの「機能的な拡張」から、ワークステーションやパーソナル・コンピュータのような新しいカテゴリー、新しいクラスのコンピュータを生み出す技術的土壌となった。さらに1980年代以降になると、汎用 OS の定着に伴い、GUI が OS と結合され、OS の性能から技術全体までに、コンピュータのあり方から会社経営戦略までに関わるようになったのである。

Research on Development Process of Graphical User Interface of Computer

Jiang Bo

Abstract:

The history of computer was to be analyzed into preordination to be based on so-called products of IBM Corporation such as the first generation, the second generation, the third generation, and the development was based on central operation element and storage cell till now. User interface is related to an ideal method of the human being side while affecting hardware or software of a computer. Therefore it is thought that it is a method of the one, which can clarify development of a computer from a viewpoint of the computer side and the human being side to analyze history of development of Graphical User Interface, which is so-called GUI.

GUI for the first personal computers was developed in 1981 by Apple Computer Corporation, but does not realize the spread of GUI itself if it is not it at the time for the beginning of 1990's period. There is a gap of about 10 years, but how should, so to speak, understand this gap historically? GUI was caught up with MS Windows of Microsoft Corporation before long, and, after 1970's, Apple Corporation where development of GUI went ahead of would be robbed of leadership for then MS-DOS system in a personal computer market. Though GUI has big significance concerning the computer, which it is easy to use in the spread of computers, is it why that Apple Computer Corporation was robbed of leadership? Difference in GUI of both and significance of GUI in mechanism of market competition must be examined.

An early stage of computer is developed for military use, and it may be said that it was limited functionally. However, interactive user interface was demanded from an end between things of a human being and a computer in 1950's, and the processing function that, as a result, was interactive came to be incorporated in a computer. A computer became the machine, which could communicate with a human being from an early stage of simple calculation machine interactively in this way. Furthermore, a use range of a computer was expanded by an appearance of GUI and became a partner of information processing in every field of human being society. It is thought that such change occurred from a process in pursuit of GUI.

This article elucidated the history development from a viewpoint to see a personal computer and a problem with the purpose of use.

矛盾許容型論理 PCL2 の研究

A Study of Paraconsistent Logic PCL2

04M42203 齊田泰伸

指導教官： 藁谷 敏晴

Abstract

In this paper we construct a system of paraconsistent logic, taking the fact into consideration that the classical negation of necessity is of paraconsistent behavior. The symbol "N" is assigned to the negation thus introduced, so that "N" has the reading "it is not necessarily that ...". We examine the logical characters of this operator 1) with respect to the modal logic S3.5 and 2) with respect to monotonic modal logics.

A formal system Σ is said to be *contradictory* if there is a formula A of Σ such that A and its negation, $\neg A$, are both theorems of Σ . Σ is said to be *trivial* or *overcomplete* if all its formulas are theorems. A theory is *paraconsistent* if it is *contradictory* but not *trivial*.

The recent stream we find in the literatures concerning paraconsistent logical systems is that they are studied making use of *normal modal logics*. But a careful caution is here needed. Namely, the rule of necessitation leads us to *overflowing*, so that we have to pose some limitations on the systems of modal logics. In other words, we are not allowed to take recourse to simple use of *normal modal logics*. We consider two possible cases of limitation. They are (1) the rule of contraposition and (2) the law of (elimination of) double negation.

はじめに

矛盾許容型論理は Lukasiewicz 及び Vasil'ev による無矛盾律に関する考察から始まり, Jaśkowski, da Costa 等によって構築された数理論理学の分野である。古典論理や直観主義的論理などの通常の論理では, 矛盾が発生した時点で論理が破綻してしまう。これは形式体系において, 無矛盾律と *omne ex falso* と呼ばれる推論が同一視されることに起因している。しかしメタ概念として, 無矛盾律と *omne ex falso* とは全く異なる概念である。近年の矛盾許容型論理はこの形式体系とメタ概念の齟齬を改善する意図のもと構築されている。

本論文では, 様相論理をもとに矛盾許容型論理を構築した。様相論理として知られている体系は数多く存在しているが, その多くは必然化則と呼ばれる推論規則を持っている。しかし必然化則を持つ様相論理は矛盾許容型論理になりえない。さらに様相論理における *omne ex falso* の証明を詳細に考察することにより, 対偶則と二重否定の除去が矛盾許容性に密接な関係があることがわかる。これらの考察をもとに本論文では (1) 対偶則が制限した論理 PCL2 と (2) 二重否定の除去が制限した単調矛盾許容型論理を構築した。

PCL2 及び単調矛盾許容型論理の特徴は次のよ

うになっている。

- 形式体系内に互いに矛盾した命題は存在しない。
- 矛盾が出現しても, 論理は破綻しない。

1 序論

ここでは, 矛盾許容型論理を定義し, 矛盾許容型論理の先行研究について述べる。

論理式の集合を言語という。言語 \mathcal{L} の空でない部分集合を \mathcal{L} の論理, また論理の要素を定理と呼ぶ。論理が自明であるとは, すべての論理式が定理になるときである。矛盾許容型論理は A と $\neg A$ が共に定理となる論理式 A が存在しても, 自明にならない論理のことである。

古典論理など矛盾を許容しない論理において *omne ex falso* と呼ばれる推論

$$A, \neg A \Rightarrow B$$

が成立する。従って矛盾した命題が存在するとそこから全ての命題が演繹されてしまう。しかし実際に行われる推論においては, 一つの矛盾の出現がすぐさま理論全体の破綻に結びつくわけではない。日常の推論を形式化するためには, 矛盾を許容する性質を持つ体系を構築する必要がある。

矛盾許容型論理は $\text{omne ex falso } A \wedge \neg A \supset B$ に制限を加えた論理である。この論理式に現われる論理記号は連言 \wedge 、否定 \neg と含意 \supset である。従って矛盾許容型論理は次の 3 種類に分類することができる。

1. 連言に制限を加えた体系
2. 否定に制限を加えた体系
3. 含意に制限を加えた体系

Jaśkowski の discursive logic D_2 は 1. の代表例、連関論理は 3. の代表例である。

我々は矛盾許容型論理の構築にあたり、否定に制限を加えるアプローチをとった。制限を加えられた否定を矛盾許容型否定と呼ぶことにする。ここでは 2. のタイプの代表例を紹介する。

Newton C. A. da Costa によって構築された矛盾許容型論理 C_n は単一の体系ではなく、無限個の体系の系列からなる。彼は矛盾許容型否定が否定である根拠として、古典的にふるまうという概念を導入した。

定義 1.1 $A^0, A^n, A^{(n)}$ を次で定義する。

$$A^0 =_{\text{def}} \neg(A \& \neg A)$$

$$A^n =_{\text{def}} \overbrace{A^0 \dots 0}^n$$

$$A^{(n)} =_{\text{def}} A^1 \& A^2 \& A^3 \& \dots \& A^n$$

このとき C_n において論理式 A が古典的にふるまうとは、 $A^{(n)}$ が成立するときである。

Da Costa は矛盾律の成立を古典的にふるまうことの条件としているが、この条件設定が妥当なものであるかについては本質的な問題がある。なぜなら C_1 において $\neg(\neg A \& A) \supset \neg(A \& \neg A)$ は定理にならない。この二つの命題のふるまいが異なるのならば、なんらかの説明が必要であるが、そのような説明を da Costa は与えていない。

T. Waragai, T. Shidori により構築された矛盾許容型論理 PCL1 は da Costa による古典的にふるまうための条件についての問題を修正した体系である。PCL1 において古典的にふるまう条件は二重否定の除去という直感的なものに修正されている。

定義 1.2 A^I を次で定義する。

$$A^I =_{\text{def}} (A \supset NNA)$$

論理式 A が PCL1 で古典的にふるまうとは A^I が成り立つときである。

PCL1 は古典的否定 \neg と二重否定の導入則 A/NNA を付け加えることにより、様相論理 S5 と演繹的に同値になることが証明されている。これは PCL1 における二重否定を S5 の必然を表す様相演算子 L に変換することにより行なわれる。

PCL1 と前後して、J. Marcos, J.-Y. Béziau により様相論理をもとに矛盾許容型論理を構築する研究が始まった。これらは

$$(DN) \quad NA =_{\text{def}} \neg LA$$

によって矛盾許容型否定 N を定義することにより様相論理から矛盾許容型論理を構築している。ここで omne ex falso を導出する次の二つの推論に注意する。

$$\text{推論 1: } \frac{NA \quad \frac{\frac{A}{LA}}{\neg NA}}{B}$$

$$\text{推論 2: } \frac{NA \quad \frac{\frac{A}{NB \supset A}}{NA \supset NNB}}{B}$$

推論 1 では必然化則と呼ばれる推論が使われている。従って必然化則を持つ様相論理では omne ex falso が成立してしまう。次に推論 2 では対偶則と二重否定の除去則が使われている。従って対偶則と二重否定の除去則を持つ様相論理では omne ex falso が成立することがわかる。このことから様相論理から矛盾許容型論理を構築するには必然化則が成立せず、かつ対偶則か二重否定の除去のどちらか持たないような様相論理でなければならない。対偶則を制限したものとして PCL2、二重否定の除去を制限したものとして単調矛盾許容型論理を構築した。

2 矛盾許容型論理 PCL2

PCL2 を次の公理を含み、推論規則に関して閉じている論理とする。

公理 (図式)

- A1. $A \supset (B \supset A)$
- A2. $(A \supset (B \supset C)) \supset ((A \supset B) \supset (A \supset C))$
- A3. $(A \supset B) \supset (\neg B \supset \neg A)$
- A4. $N(NB \supset NA) \supset N(A \supset B)$
- A5. $\neg A \supset NA$
- A6. $NNA \supset \neg NA$

推論規則¹

$$(MP) \frac{A, A \supset B}{B}$$

(RN) A が古典論理の恒真式または公理

A4, A5 ならば, NNA は PCL2 の定理である

次は PCL2 の主な定理, 導出規則である.

- T1 $A \vee NA$
- T2 $NNA \supset A$
- T3 $NNA \equiv \neg NA$
- T4 $\neg NA \supset A$
- T5 $A \supset N\neg A$
- T6 $NNNA \equiv NA$
- T7 $N(A \vee B) \supset (NA \wedge NB)$
- T8 $N(A \wedge B) \equiv N(A \wedge \neg B)$
- T9 $N(A \wedge NA)$
- T10 $N(A \wedge \neg NA)$
- T11 $(NA \supset A) \supset A$
- (CP) $A \supset B$ が命題論理の恒真式または公理
A4, A5 ならば, $NB \supset NA$ は PCL2 の
定理である.

PCL2 は次のような特徴があることが示せる.

- N を (DN) で定義することにより, PCL2 は様相論理 S3.5 と演繹同値である.
- S3.5 のクリプキ意味論を用いることにより完全性を証明できる.
- C_n や PCL2 と同様に古典的にふるまうことを定義可能.
- $\vdash A$ かつ $\vdash NA$ となるような論理式 A は存在しない.
- PCL2 に論理式 $p \wedge Np$ を加えても, 自明な論理にならない. 従って PCL2 は矛盾許容型論理である.

¹ 本論では $\frac{A_1, A_2, \dots, A_n}{A}$

は「 A_1, A_2, \dots, A_n が定理ならば A は定理である」を表すものとする.

「仮定 A_1, A_2, \dots, A_n から A が導出される」とは区別する.

3 単調矛盾許容型論理

本章では, 対偶を表す推論規則

$$(CP) \frac{A \supset B}{NB \supset NA}$$

に着目し, これに関して閉じた論理, 単調矛盾許容型論理を導入する. 単調矛盾許容型論理は否定に関する公理を加えていくことにより, 数多くの矛盾許容型論理を構築することができる. ここではそのうちの主要な矛盾許容型論理を構築する.

定義 3.1 矛盾許容型論理 PCL を次の公理を含み, 推論規則に関して閉じているものとする.

- A1. $A \supset (B \supset A)$
- A2. $(A \supset (B \supset C)) \supset ((A \supset B) \supset (A \supset C))$
- A3. $(A \supset B) \supset (\neg B \supset \neg A)$

推論規則:

$$(MP) \frac{A, A \supset B}{B}$$

$$(CP) \frac{A \supset B}{NB \supset NA}$$

PCL の拡大体系を単調矛盾許容型論理 (monotonic paraconsistent logic)² と呼ぶ. PCL に論理式 A を公理として加えてできる論理を PCLA と呼ぶ. 以下に単調矛盾許容型論理の公理として用いるものを挙げる.

- 公理群 1:**
- C $N(A \wedge B) \supset NA \vee NB$
 - D $\neg NA \supset N\neg A$
 - T $\neg A \supset NA$
 - IV $N\neg NA \supset NA$
 - E $NNA \supset \neg NA$

単調矛盾許容型論理の意味論として, 単調様相論理の意味論として知られる近傍意味論 (neighbourhood semantics) を参考に定義する.

定義 3.2 (N -近傍フレーム, モデル)

$\mathcal{F} = (W, \nu)$ が N -近傍フレーム (N -neighbourhood frame) であるとは,

- (1) W : 空でない集合
- (2) 写像 $\nu : W \rightarrow 2^W$ は任意の $w \in W$ と $X, Y \subseteq W$ に対して, 次を満たすものとする.
- (m) $X \subseteq Y$ かつ $Y \in \nu(w)$ ならば $X \in \nu(w)$.

を満たすときである.

² 単調様相論理 (monotonic modal logic) に対応して名づけた.

公理群 1 の論理式は一般に、 N -近傍フレームで恒真にならない。しかし各公理に対応する ν の条件が存在する。以下に列記する。但し写像 $m_\nu : 2^W \rightarrow 2^W$ を $m_\nu(X) := \{w \in W | X \in \nu(w)\}$ とする。

条件群 1 : $w \in W, X, Y \subseteq W$ を任意とする。

- (c) $X \cap Y \in \nu(w) \implies X \in \nu(w) \text{ or } Y \in \nu(w)$.
- (d) $X \notin \nu(w) \implies W \setminus X \in \nu(w)$.
- (t) $w \notin X \implies X \in \nu(w)$
- (iv) $W \setminus m_\nu(X) \in \nu(w) \implies X \in \nu(w)$.
- (e) $m_\nu(X) \in \nu(w) \implies X \notin \nu(w)$.

公理群 1. と条件群 1. には対応関係がある。例えば、論理式 N は条件 (n) を満たす任意の N -近傍フレームで恒真である。このように N -近傍意味論では各公理に対応した条件がそれぞれ存在し、その条件を N -近傍フレームに加えることにより対応した意味論を構築できる。

この N -近傍意味論を用いることにより、完全性定理を示すことができる。

4 結論と今後の課題について

T. Waragai と T. Shidori により明らかにされた矛盾許容型論理と様相論理の関係を出发点に本論の議論は進められた。様相論理における $M \neg$ という様相記号を否定 N と読み替えることにより、矛盾許容型論理を作ることができる。1 章で考察したとおり、矛盾許容型論理となり得る様相論理は、必然化則を持たない体系であり、かつ (1) 対偶則を制限されているか、または (2) 二重否定の除去を制限されているものでなければならない。(1) を採用し、構築した体系が 2 章の矛盾許容型論理 PCL2 であり、(2) を採用した体系が 3 章の単調矛盾許容型論理である。

課題 1 本論でとりあげた S3.5 と単調様相論理以外の様相論理の矛盾許容性の考察

様相論理として知られる体系は数多く存在する。しかし矛盾許容型論理として考えられるのは、本論でとりあげた S3.5 及び単調様相論理以外では、S1, S2, S3, S3.5, S7, S8, S9, J1, J2, J3 と Łukasiewicz が構築した様相論理等、数少ない。これらの否定

N の性質や矛盾許容性の考察は今後の課題である。

課題 2 述語論理への拡張について

本論で考察した論理は命題論理の範囲に限定していることから、述語矛盾許容型論理へ拡張し、研究するのも今後の課題である。

課題 3 単調矛盾許容型論理を用いた矛盾許容型否定の性質の研究

単調矛盾許容型論理は対偶則を持つ論理について詳細な考察ができるように設計した。本論では公理群 1 の論理式に範囲を限定し、研究を行ったが、否定の性質をあらゆる論理式は以下のように多く存在する。これらを単調矛盾許容型論理 PCL に公理として加えることにより、多くの論理を作ることができる。

主要参考文献

- Béziau, J.-Y., "Paraconsistent logic from a modal viewpoint", *Journal of Applied Logic*, 3 (2005) : 7-14.
- Chellas, B. F., *Modal Logic : An Introduction*, (Cambridge: Cambridge University Press, 1980).
- da Costa, N. C. A., "On the Theory of Inconsistent Formal Systems", *Notre Dame Journal of Formal Logic*, 15(1974) : 497-510.
- Marcos, J., "Modality and Paraconsistency", *The Logica Yearbook 2004*, (2005) : 213-222.
- Waragai, T. and Shidori, T., "A system of paraconsistent logic that has the notion of behaving classically in terms of the law of double negation and its relation to S5", *Paraconsistency with no Frontiers*(2005).

The Study on Elementary Protothetic

Dong Yuan (董遠)

(Supervisor: Prof. Toshiharu WARAGAI)

This is a survey work of the system that is known as Protothetic. At first I should introduce the history of Protothetic.

Stanisław Leśniewski (March 30 1886-May 13 1939) was a Polish mathematician, philosopher and logician. From 1911 **Leśniewski** studied of the existence of symbolic logic and of Russell's antinomy, he learned of symbolic logic and others systems, then he began to produce his own deductive theories, in 1916 his first work on mereology was published and in 1920 the first axiom for ontology was constructed, two years later the first system of Protothetic was made, by 1922 he finished proofs entirely in logical symbols and after he had created Protothetic, his system of foundations for mathematics was essentially completed. **Leśniewski's** system of the foundations of mathematics was the "most thorough, original, and philosophically significant attempt to provide a logically secure foundation for the whole of mathematics" (Z. Jordan).

In one word Protothetic is a calculus in which quantifiers bind propositional variables and variables refer to arbitrary functors constructible over the usual functors: that is, functors of propositional variables, functors of functors, etc. In general, if we start with the category of sentences alone, protothetical quantifiers bind variables of all further definable categories. In my paper Protothetic is a system of prepositional logic enriched with quantifiers and quantificational operations. As the part we cope with in this paper is its elementary part and its primitive connective is just implication, we can call it EPBI (Elementary Protothetic Based on Implication). The definition of 'elementary' (ie **protothetic** with. quantifiers restricted only to sentential variables) is given in the first part of this survey.

Due to the shortage of literatures in this field, I had to limit my survey to some well selected papers by Tarsky, Slupecki and a lecture note about Protothetic that was held in 1932-33 at Warsaw University. They are to find in **Leśniewski** [1998].

The following propositions A1,A2,A3 are the axioms of the system, by using the three axioms and three rules (1. the rule of substitution; 2.the rule of detachment; 3.two rules for using the general quantifier),the theorems of the system can be proved. At the same time we can apply also the rule permitting to add definitions in building the system.

A1. $[p, q, r] \{ (p \supset q) \supset ((q \supset r) \supset (p \supset r)) \}$

A2. $[p, q,] \{ q \supset (p \supset q) \}$

A3. $[p, q,] \{ (p \supset q) \supset p \}$

The logical law that plays the key role is the law of extensionality. The fact concerning this law is that it is equivalent to some other laws:

1. the law of extensionality,

$$[f,p,q]\{(p \equiv q) \supset (f(p) \equiv f(q))\}$$

It states that all functions of one argument of elementary protothetics are truth-functions.

2. the law of quantity of functions,

$$[f]\{[p]\{f(p) \equiv as(p)\} \vee [p]\{f(p) \equiv vr(p)\} \vee [p]\{f(p) \equiv fl(p)\} \vee [p]\{f(p) \equiv \sim(p)\}\}$$

It states that any prepositional function of one argument is equivalent to one of the four functions: $as(p)$, $vr(p)$, $fl(p)$ or $\sim(p)$.

3. the law of development,

$$[f,p]\{f(p) \equiv (f(1) \cdot p \vee f(0) \cdot \sim(p))\}$$

It states that any prepositional function $f(p)$ after the substitution for p of any true proposition is equivalent to the expression $f(1)$, and after the substitution of any false proposition, to the expression $f(0)$.

4. the law of verification,

$$[f,p]\{f(1) \cdot f(0) \supset f(p)\}$$

It states that any function of one argument of elementary protothetics which is satisfied by the expressions 1 and 0 is satisfied by any proposition.

5. the law of on the limit of a function,

$$[f]\{[p]\{f(p)\} \equiv f(1) \cdot f(0)\}$$

It can be used for defining the general quantifier by means of quantifier by means of conjunction and of the terms 1 and 0.

6. the generalized law on the limit of a function.

$$[f,q]\{[p]\{f(p)\} \equiv f(q) \cdot f(\sim(q))\}$$

It states that a prepositional function of one prepositional argument is satisfied by any proposition if and only if it is satisfied by any two contradictory propositions.

At first the inferential equivalence that exists between them was proved for one argument truth-functions. Thereafter the same fact was established for two argument truth-function. And so the same fact can be proved for more than one argument truth-function.

After that is important is that the logical connective of conjunction is definable by means of implication and universal quantifier. We owe this important fact to Tarski [1923]. The original definition of conjunction was stated in his paper in terms of 'equivalence(=)' in place of 'implication(\supset)'. But the fact is that either will do.

Sobcinski defined in his 1949 paper the connective of conjunction appealing to two argument truth-functions. He, however, left the results without proofs, so that I gave their proofs using the law of development. Sobocinski [1949] contains the definitions of three truth functions of two arguments, and they also are just stated without proof. I have given also their proof.

The proof on Sobocinski's definitions of three truth functions of two arguments:

1 the proof of D1-D12

Only D1 was proved ,the others was abbreviated.

D [pq]($p \triangle q \equiv \sim (p \vee q)$)

D1 [pq] ($p \triangle q \equiv ([f](f(pq) \equiv f(q0)))$)

2 the proof of E1-E4

Only E1 was proved ,the others was abbreviated.

E [pq]($p \blacktriangle q \equiv \sim (p \acute{E} q)$)

E1 [pq] ($p \blacktriangle q \equiv ([f](f(pq) \equiv f(10)))$)

3 the proof of F-F4

Only F 1 was proved ,the others was abbreviated.

F [pq]($p \blacktriangledown q \equiv \sim (p \vee \sim q)$)

F1 [pq] ($p \blacktriangledown q \equiv ([f](f(pq) \equiv f(01)))$)

The following theorems were proved in the survey. So the validity on definition of conjunction appealing to two argument truth-functions were be proved.

•C1 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(pq) \equiv f(q1))$)

•C2 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(pq) \equiv f(1p))$)

•C3 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(qp) \equiv f(p1))$)

•C4 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(qp) \equiv f(1q))$)

•C5 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(pp) \equiv f(q1))$)

•C6 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(pp) \equiv f(1q))$)

•C7 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(qq) \equiv f(p1))$)

•C8 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(qq) \equiv f(1p))$)

•C9 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(pq) \equiv f(11))$)

•C10 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(qp) \equiv f(11))$)

•C11 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(1p) \equiv f(q1))$)

•C12 [pq]($p \bullet q \equiv [f](f(1q) \equiv f(p1))$)

And the following definitions were proved to be validity in my paper.

Def.1 $0 \equiv [p]\{p\}$.

Def.2 [p]($\sim(p) \equiv p \supset 0$)

Def.2 T1 [p]{p} $\supset (p \bullet \sim p)$

Def.2 T2 $(p \bullet \sim p) \supset [p]\{p\}$

Def.3 [pq]($p \cdot q \equiv [r]((p \supset (q \supset r)) \supset r)$)

Def.4 [pq]($(p \equiv q) \equiv [r]((p \supset q) \supset ((q \supset p) \supset r)) \supset r$)

Def.5 [pq]($p \cdot q \equiv (p \equiv ([r](p \equiv f(r) \equiv ([r](q \equiv (r))))))$)

Def.6 [pq]($p \cdot q \equiv [f](p \equiv (f(p) \equiv f(q)))$)

Def.7 [pq]($p \cdot q \equiv (p \equiv ([fr]f(pr) \equiv f(qr)))$)

Def.8 $[pq](p \vee q \equiv [\exists f](p \equiv (f(p) \equiv f(q))))$

Protothetic is a field difficult to study while when seen from the other point of view, it is a system that has much to do with other systems of logic. We just mention one of them: paraconsistent logic.

1930 年代のナチスドイツにおける数学の正当化

—数学教育の観点から—

山崎研究室 宮本英司

第 1 章 序論

1933 年にドイツでナチスは政権を奪取して以降、急速に国家、国民のナチス化を推進した。ユダヤ人の排斥や虐殺は、その代表的な例である。このような事件は、科学の世界にも及んだ。

1933 年 4 月に、ナチスは「公務員制度復旧法」を布告し、ユダヤ人や反ナチス主義の人々を排斥する活動を開始した。この法律により、ドイツの多くの一流の科学者は、国外へと研究の場を求めるほかなかった。

だが、ナチスがもたらした科学界の変化は、これだけではなかった。ナチスは、「血と土」(民族と国土)を重視するというイデオロギーに基づいた、独特な科学に対する観点を持っていた。それは、アーリア民族の優位性を説明するための人種学、ユダヤ人を排斥するための優生学、食糧自給や国防のための農学等を特別に重視するというものであった。その一方で、民族主義になじまず、党にとって政治的価値が薄いと見られた物理学や数学などを、周辺的なものとした。

このため、ナチスから軽視された物理学者や数学者たちは、自分たちの学問分野を破壊から守り、自分たちの学問分野の権威を保全するために、ナチスに対して自らの学問分野を正当化する必要があった。

本研究で扱う主題は、数学者のナチスに対する数学の正当化の活動である。ナチス統制下における数学者の正当化の活動については、ドイツの数学史家ヘルベルト・メーアテンスの研究¹が先行研究として挙げられる。メーアテンスは、ドイツの伝統的な数学者団体であるドイツ数学会 (Deutsche Mathematiker-Vereinigung) と、ドイツ数学会からの派生団体で主に数学教育に関わった帝国数学協会 (Mathematischer Reichsverband) との関係に着目している。ドイツ数学会は、専門的な数学研究の自治を守るために帝国数学協会をイデオロギーの普及に当たらせ、数学教育をナチスへ切り売りし、ナチスへの正当化

¹ Herbert Mehrrens, "Die 'Gleichschaltung' der Mathematischen Gesellschaften im nationalsozialistischen Deutschland," *Jahrbuch Überblicke Mathematik*, 18, 1985, s.83-103.

を行った、とメーアテンスは主張する。

メーアテンスは、数学教育への視点を持ってはいるが、主として数学者の研究活動に着目しているため、帝国数学協会の数学教育に関する具体的な活動については、ほとんど触れていない。

以上の先行研究をふまえて、本研究は3つの課題を設定した。一つ目は、数学教育におけるナチスへの正当化の活動はどのようなものだったのか、ということである。二つ目は、その正当化の活動によって数学者、数学教育者たちは、ナチスによる数学教育や専門的な数学研究の破壊から守り、数学の権威を保全することができたのか、ということである。三つ目は、ナチス期の数学教育の正当化活動によって、この正当化の活動に携わった数学者、数学教育者たちが拠り所としたクラインの数学教育論が、どのように変容したか、ということである。本研究を行うにあたって、一次資料として、帝国数学協会の年報²、帝国数学協会作成に教科書³、ワイマール時代とナチス時代の指導要綱⁴を、主に利用した。

第2章 クラインの数学教育改造運動とワイマール期の数学教育

19世紀の数学教育は、世界的に見て、理論の論理的連関を重視する内容となっていた。その象徴として、ユークリッドの『原論』が標準的な教科書として用いられていた。しかし19世紀の後半になると、中等教育で科学技術に対応できる教育が求められるようになり、イギリスのジョン・ペリー、ドイツのフェリックス・クラインを中心とする世界的な数学教育改造運動が起こった。

クラインは、それまでの数学教育の方針に意義を唱え、1904年に自らの数学教育論を発表した。それは、数学、物理学、工学の関係を密接にするもので、数学の「実生活への応用」を重視していた。一方で、論理学、数学史も数学教育に取り入れることも主張していた⁵。クラインは、応用と理論のバランスを意識した、独自の教育論をつくり上げたのである。

1925年に改定されたプロイセン州の指導要綱は、クラインの数学教育論の影響を受け、「生活への応用」を強調し、論理学や数学史も取り入れていた⁶。クラインの数学教育論は、ワイマール期の数学教育方針として、実践されるように

² *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*.

³ Adorf Dörner(hrsg.), *Mathematik im Dienste der Nationalpolitischen Erziehung*, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Main, 1936.

⁴ *Richtlinien für die Lehrpläne der höheren Schulen Preußens*, 1925.と Reichs- und Preussischen Ministeriums für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung, *Erziehung und Unterricht in der höheren Schule*, 1938.

⁵ フェリックス・クライン著(林鶴一、武邊松衛 訳)『独逸ニ於ケル数学教育』大日本図書株式会社, 1921年, 41頁

⁶ *Richtlinien für die Lehrpläne der höheren Schulen Preußens*, 1925, S.39-42, 128-130.

なったのである。

第3章 ナチスドイツにおける教育政策とその実践例としての

生物学教育

ナチスの科学教育観は、物理学や数学などを軽視するものであった。ヒトラーの言明によれば、「自然科学は、唯物的エゴイズムを推進する。よって、自然科学を一般教養としてドイツ国民に伝えるのは危険」だったのである⁷。

ナチスの教育観は、1933年5月の内務相ヴィルヘルム・フリックの演説から見て取れる。それは、民族全体への奉仕の心を育て、人々を防衛能力あるものに育てる、というものだった⁸。1934年には帝国教育省が設立され、教育の中央集権化が始まった。1938年には、中等教育の就学期間を1年短縮し、新しい指導要綱を制定した。これらはすべて、ナチスの教育方針を実践するために行われた措置で、教科内容はそれに沿うように変えられた。

ナチスの教育方針の中で重要な位置を占めた生物学教育の実践を、例にとって見てみる。ワイマール期の生物学教育は、政府から非常に軽視されていた。生物学教育者は、生物学教育と優生学教育と結合することで、自らの重要性を主張するようになった。ナチスの権力奪取後、生物学教育は人種学をも担うようになった。プロイセン州では、外国語や数学を犠牲にしても2、3時間増加させる訓令が出るほどの扱いとなった⁹。内容は、個人主義を批判、共同体への忠誠、共同体の中と外の区別、遺伝的に不健全なものの排除、家族意識の強化を意識づけるものへと変わった。その結果、1938年に改定された新しい教育方針の中で生物学は、授業時間数を大幅に増やし、さらに過激な教科書を作成するようになったのである。

第4章 1930年代のナチスドイツにおける数学教育

—「ドイツ数学」と実用重視—

本章では、ナチス時代に数学者や数学教育者が行った、ナチスへの数学教育の正当化の活動と、その活動の結果について見ていく。正当化の方法は、二通

⁷ アドルフ・ヒトラー(平野一郎 訳)『わが闘争(下)』角川文庫、1973年、73-74頁

⁸ Wilhelm Frick, "Erziehung zum lebendigen Volk. Kampfziel der deutschen Schule," Friedrich Hiller (hrsg.), *Deutsche Erziehung im neuen Staat*, Verlag von Julius, 1935, S.146.

⁹ シーラ・フェイス・ワイス「第三帝国下の学校生物学と優生学教育」ジョージアンヌ・オルフ＝ナータン編(右京頼三 訳)『第三帝国下の科学』法政大学出版局、1996年、275頁

りあった。

一つは、ビーベルバッハを中心として主張された、ドイツ民族にふさわしい数学「ドイツ数学(Deutsche Mathematik)」に基づいた数学教育論の主張である。ビーベルバッハは、1933年のベルリン科学アカデミーでの講演で、「フランス、ユダヤ型は形式主義、ドイツ、イギリス型は直観主義に強い傾向をもつ」として、民族の違いによって数学の思考様式も異なることを主張した¹⁰。そして、ドイツ国民には直観主義がふさわしいとして、「ドイツ数学」を提唱し、抽象的思考を行うものとして、ユダヤ系学者を排斥しようとした。この理論は、数学教育にも影響を与えた。「ドイツ数学」的教育論者のティエティエンは、数学教育は直観を重視すべきとした¹¹。「ドイツ数学」を唱えたものたちは、クラインの民族と数学様式についての言明を引用することで、自らの主張に権威を持たせようとしていた¹²。

もう一つは、数学の応用、とりわけイデオロギーの普及や国防、軍事に役立つような数学教育である。数学教育の推進を担う帝国数学協会は、軍事への応用、民族性の育成という、ナチスにとって実用的な数学を主張することで、数学教育の正当化を試みた。1935年に帝国数学協会は、軍事への応用、民族性の育成を伝達する教科書を作成した¹³。実用重視の正当化を行う数学者たちは、その主張を、クラインの教育論に基づいているとしていた¹⁴。

1930年代末になると、学間に実用性が求められるようになった。「ドイツ数学」的教育論は、ナチスに実用性が低いとみなされ、衰退した。一方、1938年発布の指導要綱で数学は、応用的、軍事的 content と民族意識の強化を含む教科へと変わった¹⁵。この内容は、帝国数学協会が主張した教育論と、ほぼ一致するものだった。生物学のような、ナチスの代表的な学科だけがイデオロギーの促進に加担したわけではなかったのである。しかし、授業時間数は、大幅に削減されてしまった。

また、数学教育の正当化後の数学者の立場は、軽視されたままであった。1937年の帝国研究評議会の発足で、数学は個別部門をもらえなかった。また、第2次世界大戦が勃発すると、数学者の多くは、たんなる兵士として徴兵されていたのである¹⁶。

¹⁰ Herbert Mehrtens, "Ludwig Bieberbach and "Deutsche Mathematik"," Esther R. Phillips(ed.), *Studies in Mathematics*, vol.26, The Mathematical Association of America, p.228.

¹¹ C.H.Tietjen, *Entscheidungen zum Neubau der deutschen Schule*, Verlag von Friedrich Brandstetter, 1936, S.65-66.

¹² Elke Nyssen, *Schule im Nationalsozialismus*, Quelle&Meyer, Heidelberg, 1979, S.100.

¹³ Adorf Dömer(hrsg.), *Mathematik im Dienste der Nationalpolitischen Erziehung*, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt am Mein, 1936, Inhaltsbericht.

¹⁴ P.Zühlke, "Die Antwort des Schulmannes," *Zeitschrift für Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen*, 1935, S.74.

¹⁵ Reichs- und Preussischen Ministeriums für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung, *Erziehung und Unterricht in der höheren Schule*, 1938.

¹⁶ Herbert Mehrtens, "Mathematics and War: Germany,1900-1945," P. Formann and J. M.

第5章 まとめ

数学を軽視するナチスの学問観に対し、数学者や数学教育者が行った数学教育の正当化には、二つの方法があった。

一つは、「ドイツ数学」という民族性に根づいた数学の思考様式に基づいた教育論である。「ドイツ数学」的教育論は、極度に図や直観を重視し数や形式を軽視するという、数学における軍事等への実用性を欠いた主張であったため、1930年代後半の実用的学問を求める風潮に合わず、ナチスの高官からも批判を受けるようになり、勢いを失っていくことになった。

もう一方は、数学の実用重視を主張する教育論である。1938年の指導要綱の改定で、数学の軍事、工学への応用や応用数学を意識した教育内容の変更がなされた。この改定により数学は、軍事の発展に貢献するとともに、民族意識を強化する教科となった。改定された指導要綱の内容の中には、帝国数学協会の主張との一致を多く見出すことができる。しかし、内容はナチスの役に立つよう規定されたにも拘らず、数学の授業時間数は大幅に減らされてしまった。

また、これらの数学教育における正当化後の数学者の立場も、あいかわらず軽視されたままであった。数学は帝国研究評議会の個別部門を得ることができず、物理学部門に従属することになった。また1939年にドイツが開戦して以来、数学者は単なる兵士として徴兵されるようになった。数学教育による数学の正当化の活動は、数学教育だけでなく、数学者の立場も保全することができなかった。

これら二つの主張は、いずれもクラインの数学観に立脚していた。いずれの主張も、ナチス期の社会背景に合うように、クラインの数学観を変容させたものであった。

ナチスへの数学教育の正当化とは、数学教育をナチスの役に立つものへと変えることであった。1938年に施行した帝国教育省の指導要綱の内容と多く的一致がある、帝国数学協会による数学教育の正当化の主張は、数学教育の模範とされたクラインの数学教育論を変容させた。クラインは、数学の実用性を強調する数学教育論を展開した。しかしクラインは、実用性だけを主張するのではなく、論理的、形式的な取扱いや数学史も数学教育に必要であると考えていた。クラインは、数学の「実用的側面」と「文化的側面」をバランスよく扱うことを意識していたのである。ナチス期の実用を重視する数学教育の正当化を行った数学者、数学教育者たちは、クラインの数学教育論を引用していた。彼らは、クラインがいう「実生活への応用」を「軍事への応用」とし、数学教育をナチ

スのイデオロギーを伝達する内容に変え、数学の論理的、形式的な取扱いや数学史は排除された。彼らは、数学教育をナチスの役にたつものへと変えたことによって、数学の「文化的側面」を捨て去り「実用的側面」のみを推し進め、バランスを欠いた数学教育の内容をつくり上げていったのである。

The Justification of Mathematics in Nazis Germany in 1930's —From the Viewpoint of Mathematics Education—

MIYAMOTO, Eiji

Abstract:

In 1933 Nazis seized the power, and brought big changes in German science. Nazis disregarded mathematics while excluded Jews and underlined genetics and agriculture according to the ideology of “Blood and Soil”. German mathematicians who feared the destruction of the mathematical research by Nazis had to justify their mathematics for Nazis.

The mathematicians justified mathematics by transforming the mathematics education in the secondary schools to be useful for Nazis. This justification had two ways. One was based on “German mathematics” that tied mathematics to its ethnicity of Germany. This theory soon declined because Nazis regarded it that the practicality was low. The other was a theory of mathematics education that enhanced the practical uses of mathematics. Mathematische Reichsverband (M. R.), which shouldered a promotion of the mathematics education, discussed a “useful” mathematics education for “National defense” and “Ethnicity” in 1934. In 1935 the M. R. published the textbook in accord with the Nazis ideology.

In 1938 the German Ministry of Education issued the Guidance Record that maintained that the mathematics should be educated for military purposes and Nazis ideology in the secondary schools. However, the number of classes of mathematics in the secondary schools was forced to be declined considerably. Moreover, after the M. R. justified mathematics, the status of mathematics still remained being disregarded. The activity of the justification of the mathematics education was not able to maintain not only the mathematics education but also the social status of mathematics researchers.

The M. R. insisted that its own way of justification was based on Klein's theory of mathematics education. However, Klein had not only stressed the importance of the practicality of mathematics but also of logical thinking and history of mathematics. He argued that one should make a good balance between “practical side” and “cultural side” of mathematics. The M. R.'s way of justification promoted “practical side” for Nazis, and ignored “cultural side” of Klein's theory of mathematics education.

投稿規定

1. 本学で研究・教育に携わる者は投稿することができる。その他、編集委員会が必要あるいは適切と判断した場合も本誌に投稿することができる。
2. 投稿の種類は、論文、寄書・資料紹介、研究ノート、修士・博士論文概要等とする。
3. 原稿の掲載の可否は審査を経て決定するものとする。論文審査は、編集委員もしくは、編集委員会が必要と判断した場合は、別に適切な審査員を選んで行う。
4. 原稿の分量は注や図表も含めて40,000字を一応の限度とする。
5. 原稿は3部提出し、著者は手元にオリジナルを必ず保管する。また、原稿の電子ファイルを収めた電子媒体(フロッピー・ディスク、CD-ROM等)を提出する。投稿した原稿・電子媒体は返却しない。
6. 原稿は下記宛に送付する。
〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院 社会理工学研究科
経営工学専攻 技術構造分析講座 大岡山西9号館『技術文化論叢』編集委員会
7. 掲載された文書の著者には掲載号を3部贈呈する。
8. 発行後に訂正を要する事項が生じた場合には、できるだけ早く文書で編集委員会に申し出る。
9. 本誌に掲載された文書の著作権は『技術文化論叢』編集委員会に帰属する。他に転載しようとする場合には、あらかじめ編集委員会に申し出て許可を受けなければならない。
10. 本誌に掲載された文書は、一定期間を経た後、技術構造分析講座のホーム・ページにおいて公開される。URL：<http://www.histec.me.titech.ac.jp/course/index.html>
11. 原稿の作成は次のようにおこなう。
 - (1) 原稿は、原則としてワード・プロセッサを用いて作成する。使用するソフト・ウェアは、一般に広く普及しているものが望ましい。
 - (2) 用紙はA4サイズのを横書きで使用し、1ページあたり35字×40行を目安とする。左右3cm、上下3.5cmの余白をあける。
 - (3) 原稿の冒頭に和文表題・著者名を入れる。また、著者の所属機関名など連絡先を脚注に記す。
 - (4) 英文表題とローマ字による著者名を付記する。
 - (5) 論文には250語以内の欧文要旨をつけることが望ましい。
 - (6) 句点はコンマ(,)、終止点はピリオド(.)を用いる。
 - (7) 文中の引用文は「」の中に入れる。長い引用文は本文より2字下げて記入する。
 - (8) 図表には表題をつけ挿入個所を指定する。説明文は挿入個所に書き入れる。図表は白黒のみとし、そのまま写真製版できるような鮮明なものを使用する。カラーの図表は受けつけない。
 - (9) 引用文献の記載においては、出典を確認できるような十分な書誌データを記す。書き方は以下の例に準じる。

<書籍>

- ・ロバート・オッペンハイマー(美作太郎、矢島敬二訳)『原子力は誰のものか』中公文庫、中央公論新社、2002年、17頁。
- ・Mark Walker, *Nazi Science: Myth, Truth, and the German Atomic Bomb* (Cambridge: Perseus Publishing, 1995), 269-271.

<論文>

- ・David Holloway, "Physics, The State, and Civil Society in the Soviet Union," *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 30(1999): 173-192.
- ・スタンリー・ゴールドバーグ(春名幹男訳)「グローブス將軍と原爆投下」『世界』岩波書店、611号(1995年8月)、173-191頁。

この投稿規定は2005年4月1日以降から適用する。

Contents

<Articles>

- Why Did Germany not Succeed in Achieving a Neutron Chain Reaction
During World War II ? —From the Viewpoint of Nuclear Reactor Physics—
FUKAI, Yuzo 1
- Japanese Colonial Sciences in China (1)
—Documents, Area, Age and Problemsetting—
Lian Bo 28

<Documents>

- Doctors Tsunesaburo ASADA, Hantaro NAGAOKA, and Fritz HABER
—Their Strict Attitude on Research on Gold and Some Personal Relations—
FUKUI, Shuji 41

<Abstracts>

- An Analysis of Engineers in Meiji Japan
—Artisans and Artisan-Engineers Constructed Modern Technologies—
TSUNEKAWA, Seiji 67
- Research on Development Process of Graphical User Interface of Computer
Jian Bo 86
- A Study of Paraconsistent Logic PCL2
SAIDA, Yasunobu 116
- The Study on Elementary Protothetic
Dong Yuan 120
- The Justification of Mathematics in Nazis Germany in 1930's
—From the Viewpoint of Mathematics Education—
MIYAMOTO, Eiji 124

TI Tech Studies in Science, Technology and Culture

No. 9(2006)

Tokyo Institute of Technology

『技術文化論叢』編集要綱

1. 発行趣旨

今日の科学・技術の発展はきわめて急速であり、社会における科学・技術のあり方や先端技術の方向性如何が環境問題や人間性にかかわるものとして論議をよんでいる。他方、技術開発をめぐる国際的競争はますます激化しており、ここでも先進国間、南北間での技術移転や国際協力問題は国際的な課題となっている。東京工業大学大学院社会理工学研究科は「科学技術と人間社会のインターフェイスに位置する文化や科学技術を対象とする学問領域を切り開くために」設置された。

『技術文化論叢』は、こうした状況の下で、科学や技術の本質、それらの発展の仕方や社会的関係などを歴史的に、哲学的・方法的、あるいはひろく社会科学的に論議する研究誌として公刊するものである。

2. 発行主体

東京工業大学大学院社会理工学研究科経営工学専攻技術構造分析講座で発行の運営を行う。

3. 編集組織

上記技術構造分析講座を中心として編集委員会を構成するが、適宜必要に応じて東京工業大学内の構成員が加わることも妨げない。編集委員は、1年任期とする。再任を妨げない。

4. 発行回数

原則として年1回とする。

5. 投稿資格

本学で研究・教育に携わる者とするが、編集委員会が必要あるいは適切と判断した場合は、この限りではない。

6. 審査

投稿論文の掲載の可否は審査を経て決定するものとする。論文審査は、編集委員もしくは、編集委員会が必要と判断した場合は、別に適切な審査員を選んで行う。

7. 掲載投稿の種類

論文、寄書・資料紹介、研究ノート、修士・博士論文概要等とする。

8. 次号(第10号)の原稿提出締め切りは2007年1月5日とする。

『技術文化論叢』第9号(2006年)

2006年4月1日発行

編集：技術文化論叢編集委員会

編集委員長：Yakup Bektas

編集委員：荒川文生，加治木紳哉，栗原岳史，Md. Mamunur Rashid

発行：東京工業大学大学院 社会理工学研究科 経営工学専攻

技術構造分析講座

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

URL：http://www.histech.me.titech.ac.jp

Tel: 03-5734-3610 / Fax: 03-5734-2844

印刷：国際文献印刷社