

論 説

益川・小林理論の方法論的応用

— 三元と双対のデカルト積 —

平 井 孝 治

目 次

はじめに	
第一節	益川・小林理論の前史
第二節	対称性と MK 理論の意義
第三節	場の構文で見た準公理
第四節	場の双対性と準公理の応用
おわりに	

は じ め に

21 世紀の今日、科学間の学術上の交流は多くの分野で困難な状況にある。かつては、哲学上の知見が自然科学に、物理学や数学上の知見が文系科学に影響を及ぼすことは稀ではなかった。この点で今日はギリシャやルネッサンスの時代を凌駕しているとは言い難い。かく言う筆者も 2008 年度のノーベル物理学賞の発表があったとき (10/07)、益川・小林理論 (以下、MK 理論と略す) が諸科学にさほどの関係を有するものとは思っていなかった。実在の本質に迫る素粒子論が、諸科学に影響をもたらすことに考えが及ばなかったのは、偏に筆者の素粒子論に対する知識や理解が 1960 年代前半の坂田モデルに留まっていた所以である。

筆者は 1960 年代の始めには、分子は固体・液体・気体の三体で、色は赤・緑・青の三原色の組み合わせで、三音からなる Bach の和音は三つしかなく、人称は三人称まで、などなど、どの場にも三元が埋め込まれていることに気づいてはいた。そして三元のもたらす安定感、我々が三次元空間に存在するが故であると思っていた。従って、論文を書くときや、人前で話すときには、何事も三元に纏めることを旨として来し、院生に論文指導するときもこの旨を強調してきた。また筆者は他方で、60 年代の中頃には数学基礎論を学び、「双対性原理」など、双対性 (そうつい、Duality)¹⁾ の持つ素晴らしさや凄みにも感じ入っていた。

にもかかわらず現代の素粒子論に登場するクォーク (Quark, 基本粒子) が、結果としてこの三元と双対のデカルト積になっていたとは、当該理論の受賞後半年たつ (2009 年 3 月 14 日) まで気付きもしなかったのである。その日、筆者はある人からたまたま益川・小林の両氏が学んでいた 1960 年代の名古屋大学理学部坂田研究室²⁾ の様子を聞くことが出来た。そこで筆者は

1) 三元と双対については、論文の最後に代表的な例を三分野に分けて資料 1, 2, 3 としておいた。

2) 後述の坂田モデルで著名な坂田昌一の研究室。当時坂田は研究方法論として唯物弁証法を盛んに唱えていた。

「多様性の弁証法」を確信するに至った。この弁証法は、多様なものが入り混じり、混沌としてきたら、場を支配する少数の元や命題や原理(ないし法則)で説明しようという力学が働くというものである。第二節でも記述するように、ハドロン (Hadron, 強い粒子) が次々と多数見つけられていた 1960 年代にクオーク説が登場したのは、まさしくこの弁証法であった。

さらにその 10 日後、第 8 回会計学研究会³⁾ 春季合宿における澤邊・丸田⁴⁾ 両氏の発表「管理会計の進化論」⁵⁾ は、筆者がこの論文で明らかにする「場の準公理」に確信を付与するものとなった。これを論ずるには 1930 年代からの素粒子論の発展を、日本人の業績を中心にかいつまんでレビューし、その上で、益川・小林両氏の理論を紹介する必要がある⁶⁾。文中、物理学的な内容は悉く当該先達の寄与であるが、理論の理解と解釈については筆者平井の責に帰す。

なお、本論文では学問上、古典的な人物は慣例により敬称を略すこととする。

第一節 益川・小林理論の前史

物質をとことん細かく分ければ分子になり、その分子を構成する原子が原子核 (Nuclear) と電子 (Electron) から成り立つ^{6A)} ことが、20 世紀の初頭には既に知られていた。量子力学の不確定性原理⁷⁾ で有名なハイゼンベルグ (Werner Karl Heisenberg) は、当の原子核が一般に陽子 (Proton) と中性子 (Neutron) が複数個集まって出来ているに違いないと考えた (1932 年)。電子 e が核内の陽子 p と電磁相互作用を持ち、イオン化しない限り飛び散らないことは素人にもわかり易い。しかしながら、核内の陽子や中性子たちが、それらの間にいかなる強い相互作用(核力)があつて、核外に飛び散らないのか、当時大問題であった。

湯川秀樹は陽子 p や中性子 n たち核子の間では中間子 (Meson, メソン) が交換され、それが核力になっていると考え、中間子の存在を予言した (1935 年)。その後、坂田昌一や谷川安孝らによって二中間子説 (1942 年) が唱えられ、続いて英国で π と μ の二つの中間子⁸⁾ の存在

3) この研究会は、上總康行氏が京都大学経済学研究科の教授をしておられたときに創設されたもので、現在では後任の澤邊紀生氏が主宰しておられる。

4) 丸田起大氏、九州大学経済学研究科準教授。

5) 現在のところこの部分は公表されていないが、文末の参考文献に挙げたように、澤邊氏には管理会計を制度進化の観点から論じた論文がある。

6) ノーベル賞受賞に際し、大新聞の科学記者が南部陽一郎氏や益川敏英・小林誠両氏の業績を一般の読者にわかり易く紹介しえなかったのは、実に遺憾である。

6A) この原子模型を唱えたのは長岡半太郎とラザフォード

7) 粒子の変位を x 、質量を m 、速度を v とすると、 x と運動量 $p = mv$ を同時に確定することは原理的に不可能だが、それぞれのゆらぎ Δx 、 Δp に関して、 $h/2\pi \leq \Delta x \Delta p$ という不等式が成り立つという定理。ここに h はプランク定数 $= 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$

なお、これに光の振動数をかけるとエネルギーになる (Max Karl Ludwig Planck, 1900 年)。

8) 宇宙線に含まれる π 中間子は、地上付近で μ (Miuon) に変ずる (1947 年)。なお質量は、 π は電子の 273 倍、 μ は 207 倍で、陽子は 1,836 倍、中性子は 1,839 倍。即ち、中間子の質量は、電子と核子の中間にあるので、このように命名された。

が確認され、核力をもたらすのは π 中間子であることが明らかになった。これによって湯川は、1949 年日本人初のノーベル賞を受賞したのである。(なお、素粒子間における相互作用には、上記の二つのほか、 β 崩壊など、MK 理論が言及する弱い相互作用がある。)

π 中間子や μ 中間子が確認された同じ 1947 年に、原子核が宇宙線に叩かれた際に出てくる奇妙なバリオン (Baryon, 重い粒子), Λ (ラムダ) 粒子が発見される⁹⁾。益川・小林両氏を薫陶されていた坂田昌一は、強い相互作用をする全てのハドロン (Hadron, 強い粒子) が陽子 p と、中性子 n と、この Λ 粒子から構成されているとする、いわゆる坂田モデルを提唱する (1956 年)¹⁰⁾。このモデルは、その後の基本粒子説の発展に偉大な貢献を果たしたが¹¹⁾、三つのバリオンのみの複合で他のバリオンが出来ているとする説には無理があり、後に p, n, Λ はクォークの u, d, s に取って替られることとなる。

表 1 素粒子の分類 (素粒子 q には各々反粒子 q' がある)

クォークの複合数 ↓				バリオンは三つのクォークからなる。			
ハドロン (強い粒子)	バリオン (重い粒子)	p, n, Δ Λ^0, Ω^- など	3	基本粒子	1st	2nd	3rd
	メソン (中間子)	π^+, π^0, π^- K^+, K^0 など	2	クォーク	u (up) d (down)	c (charm) s (strange)	t (top) b (bottom)
レプトン (軽い粒子)	参照→			レプトン	e (electron) ν_e	μ ν_μ	τ ν_τ
ゲージ粒子 (ボース粒子)	光子, グルオン W ボソン, Z ボソンなど						

注) 中間子はクォークと反クォークの二つからなる。

注) バリオンは中間子を放出して、別の (ないし同じ) バリオンになる。

このように、素粒子論、特に 20 世紀以降のそれを学ぶと、For any $t, P(t) = 1$ のような定数関数も許容するなら、巨視的には「真実は歴史の関数である」ように思われる。

1930 年代から始まった現代の素粒子論で、強い相互作用の方は湯川の間接子理論を嚆矢とするが、他方、弱い相互作用の方は排他律¹²⁾ のヴォルフガング・パウリ (Pauli) や、原子炉で有名なフェルミ (Enrico Fermi) の β 崩壊の理論に端を発する (1933 年)。即ち、中性子 n が陽子 p に崩壊する場合、エネルギーの保存則から $n \rightarrow p + e + \nu$ ¹³⁾ ... (1) のように、電子 e と

9) この Λ 粒子の崩壊では、バリオン数 (重い粒子の数) が保存される。

Λ^0 崩壊の約 2/3 は $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ で、1/3 は $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0$ である。

いずれの崩壊も、バリオン数 B と、電荷 Q が保存されていることがわかる。

後述するところの、 Λ の奇妙さ (strangeness) S は「-1」と定義される。

10) このモデルは、後に池田峰夫、小川修三、大貫義郎、山口嘉夫によって、SU(3) なる数学 (特殊ユニタリー群) によって表現され、ゲルマンの八道説につながったと思われる。

11) 私見によれば、坂田モデルはノーベル物理学賞に値した。

12) (スピンも含め) 同じ軌道に複数の粒子が乗ることは無いという原理。

13) 正確には電子ニュートリノ ν_e の反粒子。

それに対応するニュートリノ ν (Neutrino, 中性微子) が対生成するという仮説である¹⁴⁾。

なお、このニュートリノは中性レプトン (電荷的には中性) で、 $\mathbf{h}' = \mathbf{h}/2\pi$ を単位として、 $1/2$ のスピン (Spin, 角運動量) を持ち¹⁵⁾、質量はごくわずかである。よって、強い相互作用はもとより、電磁相互作用もなく、質量が非常に小さい¹⁶⁾ ため、重力相互作用もほとんどない。即ち、他の素粒子との相互作用がほとんどなく、換言すれば、ニュートリノは弱い相互作用^{16A)}のみで、(電磁波のように) 透過性が極めて高い。

以下、本論文で素粒子記号の右肩に付してある「+、-、0」は当該素粒子の電荷がそれぞれ「正、負、0」であることを表している。

前述の湯川の間接子 π (Paion) は、 π^0 を除いて¹⁷⁾、実は次式のように二つのレプトン (Lepton, 軽い粒子)¹⁸⁾ の対 (ペア) に変じる。 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$, $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$
それまでバリオン p, n, Λ と、レプトン ν, e, μ の BL 対応を説明する (坂田モデルを拡張した) いわゆる名古屋モデルは、四つ目のレプトン ν_μ (ミューオン・ニュートリノ) の登場によって、 p, n, Λ に続く四つ目のバリオンの存在を示唆することとなった (新名古屋モデル)。これがなんとも魅力的なバリオンで、MIT の丁 (Samuel Ting) の実験チーム¹⁹⁾ と、スタンフォード大学線型加速器センター²⁰⁾ のリヒター (Burton Richter) の研究グループによって独立に発見され²¹⁾、 J/Ψ 粒子と命名された (俗に言う 1974 年の 11 月革命)。ちなみに、 J/Ψ (ジェイ・ブサイ) の正体は c クォークとその反粒子からなる中間子である。

引き続き、バリオンやメソンを構成するクォーク (基本粒子) の話に入るが、その前に主要な素粒子の質量などの量子数を表 2 に示しておく。以下、質量は $E = mc^2$ によってエネルギーに換算した単位で表示している。即ち、Albert Einstein の特殊相対性理論 (1905 年) により、光速 c を用いて、質量を MeV (メガ・エレクトロン・ボルト) を単位に表したものである^{21A)}。

後述するように、粒子には反粒子がつきものだが、当該表 2 では印字上の都合でそれを「q」のように表記している。

14) ニュートリノの実在が観測されたのは 1950 年代。

15) 角運動量も保存されるべき量子数。光子の Spin を「1」として定義されている。

16) そのため中性微子の観測は困難を極めるが、小柴昌俊はカミオカンデで宇宙飛来のニュートリノを観測し、ニュートリノ天文学の道を切り拓いた功績で、2002 年ノーベル物理学賞を受賞した。

16A) 弱い相互作用は、レプトン対間またはクォーク対間の転換で、 β 崩壊はその典型的な例である。

17) π^0 は二つの光子 γ (Photon) に変ずる。

18) 「軽い粒子」とはいうものの、レプトンには τ (タウ) 粒子のように、質量が陽子 p の 1.9 倍 (電子の 3,490 倍) と、実は重いレプトンもある。

19) この実験は MIT (マサチューセッツ州立工科大学) ではなく、ヨーロッパで実施された。

20) 後に紹介する c クォークを含んだ X (カイ) や D などの中間子のほか、レプトン τ 粒子もこの研究センターで発見されている。

21) この発見で二人とも 1976 年にノーベル物理学賞を受賞した。

21A) 例えば $U235$ の核分裂では、原子 1 個の崩壊で 200MeV を超えるエネルギーを放出する。

表 2 代表的な素粒子の量子数 (q' は反粒子の意)

分類	素粒子	呼び方	クォーク式	質量 (MeV)	電荷	Isospin		バリオン数 B	奇妙さ S	超電荷 Y
						I	I _z			
基本粒子	u	アップ		0.39	2/3	1/2	1/2	1/3	0	1/3
	d	ダウン		0.39	-1/3		-1/2			
	c	チャーム		1.55	2/3	0	0		-1	-2/3
	s	ストレンジ		0.51	-1/3					
	t	トップ		185	2/3				0	1/3
	b	ボトム		4.72	-1/3					
バリオン	p	陽子	uud	938.3	1	1/2	1/2	1	0	1
	n	中性子	udd	939.6	0		-1/2		0	-1
	Λ^0	ラムダ	uds	1115.6	0	0	0			-3
	Ω^-	オメガ	sss	1672.2	-1					
中間子	π^+	パイオン	ud'	139.6	1	1	1	0	0	0
	π^-		u'd	139.6	-1		-1			
	K^+	K メソン	us'	493.7	1	1/2	1/2		1	1
	K^0		ds'	497.7	0		-1/2			
レプトン	e	電子		0.511	-1					
	μ	ミューオン		105.7						
	τ	タウ		1784						
	ν	ニュートリノ (3種)		ϵ	0					
ゲージ	γ	フォトン		0	0					
	W^0	ウィークボソン		80.22						
	Z^0	Z ボソン		91.17						

レプトンがわずか (最終的には 6 種) しか見つからないのに対し、ハドロンの方は 1950 年代以降それこそ続々と見つけれられてきた。このように素粒子の世界が混沌としてくると、筆者の唱える多様性の弁証法が働き、ハドロンの量子数に関する法則を見極めようということになる。そこで 1953 年に登場したのが、NNG の公式²²⁾ $Q = I_z + (B+S)/2 \dots (2)$ である。ここに、 Q は電荷で²³⁾、 I_z はアイソスピンの第三成分で²⁴⁾、 B はバリオン数で²⁵⁾、 S は奇妙さと呼ばれる数で、それぞれ当該ハドロンの量子数である。(ただし、反粒子の電荷 Q や、バリオン数 B や、奇妙さ S の符号は、対応する元の粒子とは逆になることに留意。)

この式に出会ったとき、筆者は「場には三元が埋め込まれている」とあらためて確信したが、坂田もこれをモデルに反映した。しかし、他のバリオンが、陽子 p と中性子 n と奇妙な Λ 粒子の三つのバリオンの複合体であるとの説には限界があった。これを克服すべく登場したのが、 p も n も Λ 粒子も、それぞれ更に根源的な三個の基本粒子からなるというクォーク説であった。というのも、陽子 p や中性子 n に加速した電子 e を当てると、硬い点状粒子が観測され、 p や n が三個の粒子から構成されている可能性が香ってきたからである^{25A)}。実は後述するように、

22) 西島和彦, 中野薫夫, ゲルマンの三人による。

23) 電子 e のそれを「-1」とした電荷。

24) 陽子 p のそれを「+1/2」、中性子 n のそれを「-1/2」とした量子数。

25) バリオン, 反バリオンのバリオン数 B はそれぞれ「1」, 「-1」である。

25A) スタンフォード大学の線形加速器リニアックで、1961年のこと。

クォークの種類それ自体が一つの量子数で、それをフレーバー (Flavor) と称する。なお以下では簡単のため、超電荷²⁶⁾と呼ばれる $Y = B + S$ を用いる。

1963 年、ゲルマン (Murray Gell-Mann) とツウィク (G. Zweig) の二人が独立に、バリオンは三個のクォークから、中間子はクォークと反クォークの二個から出来ている²⁷⁾ と唱えたのである。主要なクォークである アップ u と、ダウン d と、ストレンジ s の量子数のうち主要な Q , I_z , Y だけを列ベクトルで表示すると、それぞれ次のようになる。

$$u = \begin{pmatrix} 2/3 \\ 1/2 \\ 1/3 \end{pmatrix}, \quad d = \begin{pmatrix} -1/3 \\ -1/2 \\ 1/3 \end{pmatrix}, \quad s = \begin{pmatrix} -1/3 \\ 0 \\ -2/3 \end{pmatrix}$$

さすると、バリオン p , n , Λ^0 は、それぞれ

$$p = uud = \begin{pmatrix} 1 \\ 1/2 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad n = udd = \begin{pmatrix} 0 \\ -1/2 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \Lambda^0 = uds = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{のようになり、}$$

中間子 π^+ , π^- , K^0 も、それぞれ

$$\pi^+ = ud' = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \pi^- = u'd = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad K^0 = ds' = \begin{pmatrix} 0 \\ -1/2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{となる。}$$

第二節 対称性と MK 理論の意義

これらの等式が成立するということは、電荷 Q , アイソスピン I_z , 超電荷 Y という量子数について保存則が成り立つということを含意している。角運動量にせよ、エネルギーにせよ、保存則の背景には自然界の対称性がある。さらに、時間と空間の持つ対称性には等質性²⁸⁾ と等方性²⁹⁾ がある。多少厄介な概念ではあるが、直観的にいうと、物理学で言う対称性とは、或る所から別の所に移っても事情は変わらないということである。従って、誤解を恐れずに言うならば、物理学で言う対称性とは、保存則と同値 (ないし準同型) である³⁰⁾ と解してもかまわない。即ち、対称性と保存則とは、自然界というコインの表裏 (双対) の関係になっている。

このように見てくると、電荷 (Charge) の対称性については判りやすいが、ここでついでに MK 理論に出てくるパリティ (Parity, 偶奇性) の対称性についても触れておく。xy 平面の原点で、平面に垂直に x 軸から y 軸の方向に右ネジを廻してネジの進む方向に z 軸を設けた三次元空間のカイラリティ³¹⁾ を「右」とすれば、逆方向に z 軸を設けた空間のカイラリティは「左」と

26) 超電荷 (Hyper-Charge) Y を用いると、NNG 式は $Q = I_z + Y/2 \dots (2)'$ と表現できる。

27) 坂田モデルでもメソンは粒子と反粒子からなるとしていた。

28) ある時刻における三次元空間のある一点で成立している現象は、時間や座標が移動しても変わらないという性質。なお、この脚注と 29) と 32) は、南部陽一郎の『クォーク第 2 版』の 106 頁などによるところが大である。

29) 三次元空間のある一点で、向きを変えても事情は不変であるという性質。

30) 同値 (Equivalent) や 準同型 (Isomorphism) は、数学の用語

31) Chirality をそれぞれ「+ 1」, 「- 1」とすることもある。

いうことになる。

なお、こちらの世界を反転した鏡の向こうの世界に移ることを空間反転と称する。素粒子の挙動につき、この空間反転にあっても場のポテンシャルが変らなければ³²⁾、「+ 1」、さもなければ「- 1」なる量子数パリティを定義する。空間を反転しても、強い相互作用や電磁相互作用では、このパリティも保存される。そこで弱い相互作用でも、(素粒子の)パリティが保存されて然るべきであると思われていた。しかし、自然界は対称性を保存するとは限らないことが判った³³⁾ (1956年)。実は、(1) 式の β 崩壊の際に出てくるニュートリノの場合、パリティが保存されていないことが判明した^{33A)} のである。

なおしかし、電荷反転³⁴⁾と空間反転を同時に操作すれば(これをCP操作、ないし単にCPとよぶ³⁵⁾)、弱い相互作用の場合でも対称性が維持されると思われていた³⁶⁾。が、1964年、 K^0 メソンとその反粒子の崩壊では、このCP対称性も破れていることが判った³⁷⁾。(ついでに時間を反転するT操作についても触れておく。CPTの反転を続けて行った場合、対称性が完全に維持される³⁸⁾ので、時間反転Tも破れていることになる。)

益川・小林の両氏は、この弱い相互作用の場におけるCP対称性の自発的な破れ (Violation) を解いたのである。1972年9月1日、Progress of Theoretical Physicsに受理された論文³⁹⁾の結論として、概要には「No realistic models of CP-Violation exist in the quartet scheme without introducing any other new fields.」と述べている。そして、チャーム・クォークcが未だ発見されてない時期なのに、論文の冒頭で「条件a:カルテット(p, n, λ , ζ)の ζ ⁴⁰⁾の質量が十分に大きい、条件b:準レプトン崩壊⁴¹⁾に関するよく知られた知見と矛盾しない」を満たすには、「何か新しい場を導入しない限り、CP対称性の破れを説明することは出来ない⁴²⁾」とのべ、第三世代のクォーク対の存在を予言した。

32) 量子力学的な意味では、「波動の山と谷がひっくり返らなければ」ということ。

33) ヤン (楊振寧) とリー (李政道) が「パリティ非保存の一般論」を唱え、コロムビア大学の呉やレオン・レーダーマンが実験によって、パリティ非保存を確認した。

33A) ちなみに、 K メソンの崩壊についても、パリティが保存されない。

34) 粒子と反粒子を入れ換えれば電荷が逆になるが、これには共役複素数が絡むので、このCは、Charge と、Conjugate (共役) の両方の意を兼ねている。

35) Cは電荷反転の意で、Pは鏡像変換を意味するパリティの意である。

36) 強い相互作用や電磁相互作用では、CPでも対称性が破れることはない。

37) プリンストン大学のフィッチとクローニンが、これを実験によって確認した。

38) これを「CPTの定理」という。

39) 「CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction」Vol.49 No.2 February 1973。なお、この論文はわずか6頁しかないが、これを読むには、1. 複素数の入った行列と、2. 群論と、3. 自然対数の底eに対する $i\theta$ 乗の三件に関する数学的知識を要する。

40) ζ (ゼータ) は後に発見される J/Ψ 粒子に対応する。

41) Semi-Leptonic Processes はハドロンとレプトンが入り混じった崩壊。尚、レプトンだけの崩壊と、ハドロンだけの崩壊をそれぞれ、レプトン崩壊、非レプトン崩壊という。

42) これはもとより筆者平井の意識で、訳責は筆者にある。

即ち、カビボ (N.Cabibbo) 説のダウン d とストレンジ s の混合を、 d と s と後述するボトム b の 3 次元混合に拡張し、この三者のクォーク混合によって CP 対称性の破れ⁴³⁾を説明する。ために、1st (第 1 組)⁴⁴⁾ のクォーク対 (アップ u とダウン d) と、2nd のクォーク対 (チャーム c とストレンジ s) の二世代だけではなく、3rd のクォーク対⁴⁵⁾が必要である⁴⁶⁾ との所説で、さすれば、世代を超えてクォーク混合⁴⁷⁾が現象するというのである。なお、この 3rd のクォーク対は、発見される前に予め (トップ t とボトム b) と命名されていたようだ。

話は変わるが、他方で三番目の重いレプトン τ が見つかり、そのニュートリノ ν_τ と合わせてレプトンが六種になったが、クォークもそうではないかと予測された⁴⁸⁾。そして、上記の論文が受理されたわずか 5 年後に、脚注 33) で紹介したレーダーマンが率いるチームが重い中間子 Υ (ウブシロン) を発見する (1977 年)。この Υ を構成する重いクォークが 3rd のボトム b に対応していた。残るクォーク トップ t の質量は、その対面⁴⁹⁾ b のさらに約 30 倍もあり、それゆえ発見が大幅に遅れ、1994 年になって漸く (先の Υ を発見していた) フェルミ国立加速器研究所で見つかるに至ったのである⁵⁰⁾。

これでクォーク q が三対で 6 種となり⁵¹⁾、物質を構成する、いわば役者が出揃ったわけだが、核子や中間子など、強い相互作用をするハドロンを構成する基本粒子たるクォーク q は、6 種ともバリオン数 B が $1/3$ で、Spin (角運動量) が $1/2$ のフェルミ粒子⁵²⁾であることが既に知られている。しかし厄介なことながら、脚注 12) で紹介したパウリの排他律によれば、アップ u なら u だけの qqq のようなバリオン (や qq' のようなメソン) の存在は、原理的に許されない。なお、この論文では、一般に粒子 q に対し、その反粒子を q' と表記⁵³⁾ している。

そこでこの排他律を回避するために、Greenberg によって考え出されたのが、各クォークには「フレーバー (香り)」と共に「カラー (色)」と称する二つの内部量子数がある (1964 年)、

43) 破れはモデル行列の複素数成分と関連している。

44) 素粒子論ではこれらクォーク対を、それぞれ第一世代、第二世代、などと称しているが、MK 理論の応用にあつては、1 組、2 組と称する方が便宜である。

45) 後述するように、これは今日ではもちろん (トップ t とボトム b) のクォーク対である。

46) 筆者平井は「場の準公理」から、必要なだけではなく、十分な条件であるとしている。

47) クォーク混合は (主として) 両隣の世代との間で起こる現象である。

48) かつて新名古屋モデルでは二世代分の BL 対応 (バリオンとレプトンの対応) を論じていたが、これはバリオンをクォークに替えた三世代分の QL 対応による。

49) 筆者はクォーク対やレプトン対の相棒を互いに「対面」と称することにしている。

50) よって、益川・小林の両氏の受賞が 20 世紀末でもおかしくなかった。さすれば私のこの論文ももっと早く書けていたかも知れない?

51) レプトンの方も三組 6 種で、(クォークとレプトンの) QL 対応が成立している。

52) $1/2, 3/2, \dots$ など Spin が半整数の粒子は、フェルミ統計に従い、フェルミ粒子 (Fermion) と呼ばれている。さもない粒子は Spin が整数で、ボース (Bose) 統計に従い、ボース粒子 (Boson) 「ボソン」と呼ばれるが、光子 γ などともこれに属する。

53) 粒子 q と反粒子 q' は逆の電荷を有する。しかし、光子 γ と γ' の電荷は共に 0 で、実体は電磁波の量子である。

とする量子色力学 (QCD, Quantum Chromo-dynamics) である⁵⁴⁾。この力学では各クォークはそれ自体がフレーバー (Flavor) と称する量子数で、更に、どのクォークも三種類あるというのである。例えば、u クォークは「アップ」という香り⁵⁵⁾を持ち、その上、 u_R , u_G , u_B と異なる色を持った三つ別々のクォーク⁵⁶⁾であるとの見解である。六つの香りも、それと掛け合わせる三つの色 {R (赤), G (緑), B (青)} も、量子数というわけである。そして、例えば、 u_R の反粒子 u_R' の色はと言うと、赤 R の反色⁵⁷⁾、即ち、GB = 藍だと見なすのである。

この QCD では全てのハドロンは白色でなければならないが、パウリによって禁じられていた $\Omega^- = sss$ のような場合でも、各ストレンジ s の色が R, G, B と違っていると見て、混ぜ合わせると白色になるので、排他律に反しないというわけである。また、中間子は、クォークと反クォークから構成されているが、 $\pi^0 = uu' + dd'$ の混合でも、u の色が R なら、u' の色が GB となるので問題がなく、まして $\pi^+ = ud'$ のように、粒子と反粒子のフレーバーが異なっているときは、パウリの排他律を犯す恐れはない。

以上のように、クォークは各フレーバーとも三色あるが、レプトンの方は、レプトンごとに正色と反色の二種類しかないという。従って、 $6 \times 3 + 6 \times 2$ なので、クォークとレプトンだけで基本的な粒子は30種類⁵⁸⁾ということになる。この他、基本的なゲージ粒子として、光子 γ と、グルオンと、いま一つ仮想されているもの⁵⁹⁾がある。

ここで、核子を核内に閉じ込めている強い相互作用のように、三つ (ないし二つ) のクォークをハドロン内に閉じ込めている力の正体は何なのか、という疑問が当然でてくる。バリオンであれ、メソンであれ、ハドロン内のクォーク間では、糊のような働きをするグルオン (Gluon)を絶えず互いに放出・吸収して、これが因でクォークをハドロン内に (従って核子を核内に) 閉じ込める力になっている。グルオンがクォーク q と反クォーク q' の対になったり、逆に qq' のクォーク対がグルオン⁶⁰⁾になったり、クォークと反クォークの対生成と対消滅をグルオンが媒介しているわけである。この過程をスケッチすると、次のようになる。

バリオン qqq 内のグルオンが qq' を対発生 $\rightarrow qqqq$ と $q' \rightarrow$ バリオン qqq とメソン qq'
 $\rightarrow qq'$ が対消滅 \rightarrow バリオン qqq とグルオン \dots (3)

このように、粒子と反粒子を結び付けている力の源泉はグルオンの交換で、原子核の中では

54) 他方、量子電磁力学 (QED, Quantum Electro-dynamics) は電磁気的な側面を扱う。

55) 一説によると、アイスクリームのフレーバーに由来するという。

56) 色はあくまでも比喩で、実際に色違いのクォークが観測されているわけではない。

57) 余色や補色ともいう。なお、緑 G の反色は BR= 紫で、青 B の反色は RG= 黄である。

58) 更に、それぞれの粒子 q には反粒子 q' が付随する。

59) 相互作用には、強い、電磁、弱いのほか、万有引力の法則 (Isaac Newton, 1680) による重力相互作用があるが、この論文では、重力場については不問に付す。

60) グルオン自身は $2^3 = 8$ 種類の色電荷を持っている。即ち、グルオンは色ゲージ場の量子だが、質量は 0 である。

qq' の対生成・対消滅が絶えず繰り返し生起しているのである。単体のクォーク⁶¹⁾ q や、複合のクォーク qq が発見されていないことから、量子色力学の大御所 南部陽一郎氏は「色つきクォークの相互作用が、8 種類の色つきグルオンの交換⁶²⁾ によって媒介されていると考え、定性的に理解できる⁶³⁾」と述べている。クォークやグルオンはハドロン内に閉じ込められているが、しかしエネルギーの高い超高温や超密度の下では、自由なクォークやグルオンの相 (Quark-Gluon Plasma) が形成されていたに相違ない。

ビッグバン^{63A)} 後の初期宇宙 (1 マイクロ秒ぐらいの短時間) には、このプラズマがあったとされている。この初期宇宙では、バリオンとその反粒子が対生成したが、宇宙膨張によって温度が下がり、大部分は対消滅してそのエネルギーは光子となり、相対的にごくわずかなバリオンが残って宇宙が創生されたというのである。このバリオンの非対称性が起きるには、 C のそれだけではなく、 CP 対称性の破れを必要とする⁶⁴⁾。事実上は、 CP の破れのみを考慮すればいいのだから、いかに MK 理論が偉大か知れよう。

第三節 場の構文で見た準公理

ここまで「場」なるものをいい加減に扱ってきたが、「場とは何か」、物理学でいう場の概念をここで正確に紹介しておこう。場 (Field) とは、その中にある (粒子など) 各点が一義的な量 (or 量子数) を有する特定の空間のことで、その量⁶⁵⁾ はベクトル (複数種類) でもかまわない。電場や磁場は、その例である。当初は量 Q のみを「場」と呼んでいたようであるが、筆者の解釈では、実際には量⁶⁶⁾ のみならず、それを有する構成員も含めて「場」と呼んでいいようである。今まで述べてきたように、自然界は物質粒子と場から構成されているが、「場の量子論」⁶⁷⁾ では、物質粒子も場の構成員とみなし^{67A)}、自然界を一元的に見ようというわけである。

この「場」の概念は、当然のことながら、心理学や哲学、あるいは宗教など人文科学の分野に影響を及ぼしたが、社会科学の分野にはさほどの影響を及ぼしたようには思えない。しかしながら、結果として場の概念と同型 (Isomorphism) になっている例が社会科学にもかなりあるものと思われる。量子電磁力学の分野では、有名なシュレディンガー方程式⁶⁸⁾ を特殊相対性

61) このような一個だけ遊離したクォークを「自由クォーク」という。

62) 色電荷間の力は、8 種類の $SU(3)$ のゲージ場によって媒介される。

63) 参考文献の 1)

63A) コーネル大学の J.Gamov が 1946 年に唱えた説

64) サハロフ (A.D. Sakharov) が唱えた説では、あと、1) バリオン数を保存しない相互作用の存在と、2) 初期宇宙において、その相互作用が熱平衡を維持しないという二つの条件を必要とする。

65) QCD では香りや色なども、ここでいう場の量である。

66) 場の量 Q は、空間による変化のみならず、多くの場合、時間的にも変化する。

67) 電子 e は光子 γ を放出・吸収して電磁相互作用するが、これを扱う理論のこと。

67A) このときは、物質粒子の体積が無視できるとしている。

68) Erwin Schrödinger. QED では、波動方程式の Maxwell や、電子を点粒子と見たディラック方程式の

理論と矛盾することなく定式化した「超多時間理論」の朝永振一郎は、摂動論を使った「くりこみ理論 (Renormalizable Theory)」によって日本人二人目のノーベル賞を受賞 (1943年) した。実は、上聰康行氏の論文「借入金依存型投資計画と回収期間法」は、結果としてこのくりこみ理論^{68A)}と同型になっていた⁶⁹⁾。このように、筆者から見ると、「くりこみ理論」はある意味で「再規格化」を含意している。

物理学以外の分野にも「場」の概念を広げれば、『そこに存在する要素が、それぞれ抽象的ないし具体的な量⁷⁰⁾を持ち、相互に影響しあう関係にある空間』ということになる。さらに、筆者のいう「場の構文」の『構文』とは、そのような『場が、意味論的 (Semantic) にはともかく、物理学という場と、構文論的 (Syntactical) に同型になっている』構造を指している。このように考えてくると、どの学問分野も、いたるところ「場」に満ち溢れているに違いない。そして、場を特定しさえすれば、そこには「**場の準公理**」が潜んでいる筈である。

以上で場の準公理を導入する素粒子論的な根拠は整ったが、筆者が「準公理」として着目したのは、もちろん陽子 p や中性子 n などのハドロンを構成しているクォークの Scheme である。場の準公理を諸科学に応用する事始めに、次に人称代名詞を例にクォーク Scheme と比較検討しておくのが便宜である。

表 3 人称代名詞とクォークの比較

	一人称	二人称	三人称		1st	2nd	3rd
個人	I	You	He, She	基本粒子 (クォーク)	u (up)	c (charm)	t (top)
社会	We	You	They		d (down)	s (strange)	b (bottom)

以後、諸科学の場を議論するために、幾つかの用語を定義しておこう。{一人称, 二人称, 三人称} に対応する各セルを『元のラベル』, {個人, 社会} に対応する各セルを『対のラベル』と呼び、中身の {I, We, You など} をそれぞれ『クォーク』と呼んで、「**Q**」又は「**Qs**」と記すことにする。更に、列ごとの各元に所属するクォーク対 (ペア) に順番を付して「一組 (1st)」、「二組 (2nd)」、「三組 (3rd)」と称することにする。なお、行方向に隣接する二つのクォークも『対』と称することがあるので注意を要する。

Dirac とともに先駆者。著書には『生命とは何か』もある。

68A) 朝永は、べき級数に展開した後の方の項を前の項に合算する操作を、「利子を元金に繰り入れる」ことに喩えて、「くりこみ理論」と名づけたそうである。

69) 裏話をすると、筆者は上聰氏から頼まれて、当該論文を数学的にチェックしていたのである。しかしその時は、内容がくりこみ理論と同型になっていることに気づかなかった。

70) 物理学でも、香りや色でさえ「量」である。量だからこそ、それが「0」の要素もまた存在が許されて然るべきである。

二つの表を行方向に眺めてみると、人称代名詞の方は、明らかに『三元を貫通するロジック』があるが、基本粒子の方も「ハドロンを構成する粒子」というロジック⁷¹⁾がある。また列方向に眺めてみると、人称代名詞の方は、明らかに三元に共通する双対になっている。それに対して基本粒子の方は、(素粒子を究める人達が、意図的にしたか否か筆者には不明であるが、) 三組とも個別に双対な名称⁷²⁾を付していることが理解されよう。そこで今後、前者のような場合は『共通な双対』と呼び、後者のような場合には『個別な双対』と呼んで、同じ双対でも区別することにする。

表 3 は、構造的に見ると「三元と双対のデカルト積⁷³⁾が織りなす空間」になっている。このような構造を以後「三双構造」と呼ぶことにする。更に議論を進めるために、「種の進化」を例にした次の表 4 を考察してみる。

表 4 一般のデカルト積と進化論の枠組み

	1st	2nd	3rd	1st		保持	変異	選択	保持
双対	Q_{11}	Q_{21}	Q_{31}	Q_{11}	個体	Q_{31}	Q_{11}	Q_{21}	Q_{31}
	Q_{12}	Q_{22}	Q_{32}	Q_{12}		群	Q_{32}	Q_{12}	Q_{22}

議論の対象としている空間で、例えば、 Q_{31} が対面の Q_{32} だけでなく両隣する Q_{21} や Q_{11} と影響する関係がどのクォーク Q にもあるとき、『この空間 (ないし場) には相互作用がある』と称することにする。更に進化論の場合のように、この空間の全体を規定する複製子のようなものがあれば、それを『空間 (ないし場) の規定子』と呼ぶ。あるいはまた、空气中を伝わる音の場合では、空気が伝播の媒介をしているが、この場合の空気のような媒介の役割を果たすものを『空間 (ないし場) の媒質』と呼ぶことにする。

そうすると、**場 (Field) の定義**は次のようになる。

対象 (問題) としている空間に、

- ① ロジックの貫通した三元があり、
- ② そこには共通か、個別な双対があり、
- ③ どのクォークも対面と両隣に相互作用する。

このとき、当該空間を「場」と称する。

どのような学問領域にもこのような「場」があるというのが筆者の唱える『場の準公理』で、それを前提に、場を類型化すると次のようになる。

71) ちなみに、上段のクォーク u,c,t の電荷は 2/3 で、下段の d,s,b の電荷は -1/3 である。

72) 3rd の「t と b」を「Truth」と「Beauty」と呼ぶ人もいたが、「真と美」とでは、双対の香りがしそ
うもない。

73) Cartesian Product, 直積ともいう。

a) 弱い準公理に従う場	:	個別な双対にとどまる場
b) 中程度の準公理に従う場	:	共通な双対はあるが、規定子も媒質もない場
c) 強い準公理に従う場	:	共通な双対があり、規定子または媒質がある場

単に、「弱い場」、「中程度の場」、「強い場」と略す場合もあるが、当該学問分野の知見が深まるにつれて強くなっていく可能性もある。ちなみに、先に例示した人称代名詞や種の進化は強い場であるが、基本粒子は今のところ弱い場のように思われる。しかし、 $z = a + bi + cj$ のようなスカラー (Hyper Complex Number) を新規導入すれば、強い場であることが判明するかも知れない。期待が持てるかと筆者は考えている。

ここで、筆者が「準公理」という言葉を使用している意味を伝えて置かなければならない。世間一般では、「公理 (Axiom)」といえ、 $1 + 1 = 2$ のように⁷⁴⁾、疑いようもない真実のように思われているが、これですらヒルベルト流にいえば、 $1 + 1 = 1$ という数学も立派に成り立つ⁷⁵⁾ のである。そこでここに、三つの互いに独立な命題⁷⁶⁾ {A,B,C} があるとしよう。以下本論文では、命題 P の否定命題を「P'」と表記し、 $(P)' = P$ とする。ヒルベルト (David Hilbert)⁷⁷⁾ によれば、モデルが実在しさえすれば、{A,B,C} という公理系も、{A, B, C'} という公理系も、両方とも成り立つのである。例えば、よく知られているように、ユークリッド幾何学と非ユークリッド幾何学がそれである。

この後でも幾つか例示するように、自然界には三元が埋め込まれていると、筆者は固く信じてはいるが、証明できるしろものでは基よりない。従って、「場の定義」で掲げた三つの命題は「準公理 (Semi-Axiom)」としか言いようがないのである。自然科学の分野にはエントロピーなど、筆者の主張する場がごまんとあるが、それ以外の分野として、経済学と経営学の分野で例を見ておこう。

表 5 場の例 (経済と経営)

		世界の経済問題			原価計算	費目別	部門別	製品別
		金融	貿易	環境				
表裏		通貨	投資	資源・Energy	実際原価	Q_{11}	Q_{21}	Q_{31}
					標準原価	Q_{12}	Q_{22}	Q_{32}

左の表は、「世界の経済問題」を論ずるとき、この三元で本当にいいのかという問題はあるが、とりあえず共通な双対があるので、中程度の準公理に従う場と見なしていいだろう。それに対して、右の「原価計算」の場には、費用 (ないし原価) なる媒質があるので、強い準公理

74) 自然数については、ペアノ (Peano) の公理がある。

75) 電流が流れている状態を「1」だとすれば、並列のスイッチ回路が「 $1 + 1 = 1$ 」に該当する。

76) 命題 (Proposition) とは、真偽が原理的に明らかな文章と解する。

77) 余談だが、筆者の修士論文は、ヒルベルトが第 2 回国際数学会議 (1900 年パリ) で提起した 23 の問題のうち、第 10 問題を扱ったものであった。

に従う場と考えるべきだろう。後者の場合、「対のラベル」として、「全部原価」と「直接原価」の対に置換して考えることもできる。このように三元と直交する軸(双対)はいろいろありうる⁷⁸⁾。要はどの様に場を設定し、対象としている空間(問題)を考えるのかということである。よって、理論とは場の設定であるとも言うるのである。

三元が埋め込まれている場合は、何も学問領域だけとは限らない。それを示すために次の表 6 を取り上げてみよう。

表 6 世間一般の例

孟子の宇宙観			野球	序 盤			中 盤			終 盤		
天 _の	地 _の	人 _の	攻	Q _{1R}	Q _{1G}	Q _{1B}	Q _{2R}	Q _{2G}	Q _{2B}	Q _{3R}	Q _{3G}	Q _{3B}
時	利	和	守	P _{1R}	P _{1G}	P _{1B}	P _{2R}	P _{2G}	P _{2B}	P _{3R}	P _{3G}	P _{3B}

左の表は、個別な双対しか見て取れないので、弱い場に過ぎないと思われる。それに対し、右の「野球の場」は、スリー・ストライクで One Out、スリーアウトで攻守交替して、守備に就くのは $3^2 = 9$ 人と、三で尽くされている。その上、中身のイニングはというと、量子色力学でいう「色電荷」まで持っているのである^{78A)}。

第四節 場の双対性と準公理の応用

ここまで「双対」ないし「双対性」という言葉をしきりに使ってきたが、準公理の具体的な応用法を論ずるにあたり、ここで「双対」について多少なりとも言及しておこう。数学者は表の空間(Primal Space)だけではなく、それをひっくり返した裏の空間(Dual Space)で物事が考えられる人達である。対比して言えば、物理屋さんはカイラリティの反転した空間に、数学屋さんは裏返しにした空間に平気で住まうことの出来る人種である。しかし、普通の人はそんなことは御免こうむりたいと考えているに違いない。

自然言語では「反対(Negation)」と「双対(Duality)」の違い⁷⁹⁾が、今いち定かではない^{79A)}。双対の概念に疎いために、双対の場合も「反対」と誤解している向きが多々ある⁸⁰⁾ように見受けられる。「買う」の反対は「売る」ではなく、ただ「買わない」というに過ぎない⁸¹⁾。「原告」

78) 数学的に言うなら、三元を主軸とする多次元空間を、どの平面に射影するかという課題に帰着する。

78A) Base-ball を「野球」と訳したのは正岡子規と仄聞するが、ちなみに、彼が愛しんだ俳句も三句からなる。

79) 判り易い例とし「足し算の反対は引き算で、双対は掛け算」を挙げておく。

79A) 社会科学においても、「Dual Responsibility」を「二重責任」と訳してあったことがあって、大変衝撃を受けたことがある。もちろん、「双対責任」と訳すべきである。

80) かくいう筆者も、医療原価という概念を確立し、その下で博士論文の指導をしていながら、つい最近まで「治療と看護は包含関係にある」と思っていた。今回 MK 理論を学んで、はじめて「治療と看護は双対である」ことに気づかされた。

81) この節で、「」を多用しているのは、「双対」を説明するには、B. Russell の説く言語の階層(Hierarchy)を重んじざるをえないからである。「月が青い」ことには異存はないが、「月は名詞である」わけがない。ただ、「月」という単語が名詞であるというのに過ぎない。

と「被告」は反対の存在であるのみならず、双対な存在でもある⁸²⁾。磁石の N 極だけが単独で存在することがないように、被告 (S 極) のいない原告 (N 極) だけの裁判 (磁石) は訴訟法 (電磁気学) を持ち出すまでもなく、論理的にあり得ない。大雑把に言えば、「反対」は余事象 (ないし補集合) で、「双対」はことの表裏なのである。

磁石の一方の極が単独で存在しないように、双対は、対の一方だけでは成立しない。中学校で学ぶ英語の基礎的な単語には、この様なペアがよく出てくる^{82A)}。文末の資料にも挙げておいたが、「And と Or」とか、「Some と Any」のように、中には一見それとは気付きにくい双対もある。お金を借りた人がいれば、必ず貸した人もいるはずである。この様な取引の対称性を原理にした記帳法が貸借複式簿記で、この場で保存されているのは「貸借の平衡」⁸³⁾である。ここには第二節で記述した「対称性と保存則」に関係するアナロジーが存することに気づくだろう。この場合の「対称性の破れ」は当然「破綻」を意味する⁸⁴⁾。

よく「相手の立場に立って考える」というが、これは「主客を互換した双対空間で思考すること」に他ならない。命題中の言葉を悉く双対な言葉に置き換えた命題を、元の命題 (Primal Proposition) の双対命題 (Dual Proposition) という。数学基礎論の双対原理⁸⁵⁾が説くところによれば、「ある命題が真なら、その双対命題もまた真である」という。例えば、「安ければ買う」が真ならば、「高ければ売る」もまた真であるということになる。即ち、これが経済学でいう需要供給曲線の源泉である⁸⁶⁾。自然科学だけではなく、文系科学でも双対概念が如何に有用であるか、これで知れようというものである。

双対を三元に拡張する局面を除いて、三元と双対に関しこれ以上言及するのは、屋上に屋を重ねる恨みがある。後は文末の資料に託したい。残された紙幅は、方法論的応用に充てることにする。

MK 理論 (三元×双対) の利用法

- ① 当該理論を、三元×双対で整理し、説明原理として利用する。
- ② 当該理論を整備した際、2行×2列など6Qでなければ、ラベルを考察し、貫通するロジックのあるラベルの方向に一元増やし、場を設定する。
- ③ 理論を新規に構築する場合は、ロジックの貫通する三元を想定し、始めから共通か個別な双対を仕込んで、エビデンスを収集する。

82) このように、「反対かつ双対」という場合もある。

82A) 最近の英語教育では、反対と双対を一緒にして「反義語」としているのを見かけた。多少面倒でも、丁寧に区別して教えた方がいいのではと思う。

83) かの福沢諭吉が日本に複式簿記を紹介した際、Balanceを「平均」と訳したが、これでは背景にある双対の気分がでてこない。「平衡」と訳して始めて双対の意を反映する。

84) この場合の「破れ」は、保存則としての「貸借の平衡」が守られないことを含意する。

85) Metamathematicsにおける最も基本的な定理。

86) 後は、取引数量を価格の関数と見なすだけである。

数学では条件の直和分割 (Direct Sum) が不可避であるように、文系の理論構築には分類が不可欠で、ロジックの貫徹した分類が原理や法則を見出す出発点になる。然しながら、例えば「かくかくの原因は次の通りである」として、10 個も 20 個も挙げて、そのままにしている論文も無きにしもあらずである。「真実は簡明を貴ぶ」はずだから、分類は不可避に違いない。

分類を前提にして、以下、三元×双対の応用法を①の「**整理・説明型**」から順に説明しよう。

表 7 マルクス経済学

	資本家	労働者	地主		ポテンシャル	使用価値	交換価値
元手	資本	労働	土地	売手 (電力会社)	kw	kwh	@ kwh
対価	利潤	賃金	地代	買手 (製造企業)			

左の場は『資本論』に登場する主な経済主体を三元に見立て、三元に共通な双対を持ってきたものである。それに対し、右の場は、電力を例に、例の「使用価値と交換価値」を取り上げたものであるが、労働を始め、物が取引される市「場」においては、使用価値の前に当該物の能力 (ポテンシャル) が問われる。即ち、使用価値は能力を積分したもので、交換価値はそれに単価をかけたものである。

右の場で問題になるのは、「表裏の境」が判然としないことである。意味論的にはともかく、構文論的には色力学的に解釈すべきで、これは中間子の粒子・反粒子対で、表 (上) が正色なら裏 (下) は反色になっており、よって、表裏が白色になっていると解される。

次に②の「**二元拡張型**」の場合を示すために、筆者が金剛理恵氏⁸⁷⁾と書いた論文⁸⁸⁾から事例を引用する。

表 8 評価、監査、審査

	自己	第三者			自己	第三者
個別			⇒	個別	第三者	
組織				組織		

この事例は、個別評価と組織評価^{88A)}を対に見立てると、二元ないし三元に共通な双対があるが、

(イ) 評価主体が違っても、(評価客体たる) 二元ないし「三元の境」が判然としていない。

(ロ) 2 行 × 2 列の枠組を一つの方向に拡張している。

前者の (イ) の問題は、左の二元の場合⁸⁹⁾はともかく、右の三元になっていたら、クオーク

87) 大学職員 (立命館)。彼女は院生時代に筆者のゼミに所属していた。

88) 「第三者による組織評価 —卒業生への教学検証アンケートを通して—」、『立命館高等教育研究』2004 年 12 月 31 日

88A) 組織評価には「分野別評価」と「機能別評価」の二種類ある。

89) この場合でも、メソンと考えれば説明がつく。

の三色，RとGとBが入り混じって白色になっていると解される。

後者の（ロ）は「**双対の拡張**」問題である。この事例のように、行のラベルも、列のラベルも二つしかない場合は、MK理論によれば、どちらかのラベルをもう一つ追加することを余儀なくさせる。即ち、どちらを三元に拡張すべきなのかという問題である。当該の分類した空間でこれが簡単に解決しない場合、特に（この事例のように）行列とも双対な場合は、一方の双対を三元に拡張することをお薦めする。「個別と組織」の双対は「地域」まで拡張しうが、この事例の場合は「自己と第三者」の間に「第二者」を挿入して拡張するのが自然である。その際、この事例の場合で言えば、「第二者監査とは何か」という理論的な問題が出てくる。これは銀行や監査役⁹⁰⁾など、ステイクホルダーによる監査を意味する。そのお陰で、内部監査と外部監査の関係も次の表9のようになり、「監査論や評価論も発展を遂げる」というわけである。

表9 内部評価と外部評価

内 部		外 部	
	監査役	金融機関	
自己	第二者		第三者

そう簡単に双対を三元に拡張できるとは限らないが、どの分野であれ、場の設定に慣れるには、①「双対」の概念と、②集合論の「Universe」の考え方の両者を要する。というのは、「反対」の場合は、対をなしているAとBで $A \cup B = U$ なので、拡張の余地はもとよりない。しかし、「双対」の場合、表と裏をはがした結果、Universeが広げれば、 $A \cup B \subset U$ となり、もう一元追加することができる。その幾つかの例を、次の表10に挙げておく。

表10 双対を三元に拡張しうる例

	自然科学系の例			社会科学系の例			世間一般の例		
双 対	導体	入力	色	戦略	意思決定	需要	保存	愛	敵
	絶縁体	出力	香り	戦術	業績評価	供給	廃棄	憎	味方
追加	半導体	処理	味	兵站	予算管理 ^{90A)}	自給	選択	無関心	中立

最後に、③の「**枠組み設定型**」の応用法を、表11を事例で紹介する。この事例は、筆者が立命館大学経営学研究科で担当している「調査設計法」⁹¹⁾の09年度前期授業で取り上げたものである。この年度のこの授業では「判定値」⁹²⁾と「MK理論」の新規導入を目指していた。

90) 株式会社の監査役は、株主が総会で選ぶもので、理屈としては取締役から独立した存在である。よって、監査役監査は第一者監査たる自己監査では決していない。

90A) 前述の上聴康行氏は「管理会計」をこのように把握している。

91) この授業と関連するものとして、筆者は大学院で「多変量解析」の授業も担当している。

92) 「実感を反映した課題レベルの判定 —平均律による加重係数を用いた判定値—」、『立命館経営学』(09年3月)で発表したもの。

ここ数年この授業でアナライザーを勤めてくれている奥山武生氏⁹³⁾は、私の下で MK 理論を学び、それを調査の設計に活かすことを着想した。これまで数多く設計・解析して来た調査の主成分分析では、第一主成分を除き悉くといつていいぐらい双対な主成分が出てきていた。

私の院ゼミでは川瀬友太氏⁹⁴⁾に次ぐ多変量解析の練達である彼は、調査を設計するに当たり、当初から三元を想定し、それを主成分として創り込んで⁹⁵⁾と提案したのである。そこで、今年度のテーマである「大学 FD の組織評価」の概要設計に際し、この着想を実際に試してみることにした。即ち、大学を対象としたアンケート調査にあたり、予め「場を設定」しておくというものであるが、表 11 がそれである。

表 11 大学 FD の組織評価

	1st : FD の実態	2nd : F D の志向	3rd : FD の姿勢
トップダウン	形式	授業方法	Control
ボトムアップ	実質	授業内容	Support

文末の資料 4 に挙げておいたようなフォーマットの、「調査目的」から「調査仮説」まで仕上げるのに、これまで多大の時間と労力を要したが、今回、予め「場を設定」しておく手法を取り入れたら、圧倒的な時間短縮につながった。これも MK 理論のゴリやくだと考えている。実を言うと、MK 理論の「**枠組み設定型**」の応用法は、奥山氏の着想を筆者が一般化した産物である⁹⁶⁾。

以上「**整理・説明型**」をはじめ、三元×双対のデカルト積を用いた MK 理論の方法論的応用について述べてきたが、その具体的なアプローチ法については、この論文の応用編として複数の人員で現在執筆中である⁹⁷⁾。特に「**二元拡張型**」については、いろんなケースが想定されるが、まとめてみると、「フレーム・アプローチ」と「クオーク・アプローチ」に類別されることが判明した。そこで、理論編に位置付けているこの論文でも、「場を科学するフロー・チャート」⁹⁸⁾のうち、「アプローチの類別」までの過程を、次ページに図 1 として載せておく。

このフローチャートは、2 行×2 列=4q からではなく、「2 項」から出発している。というのは、対象(問題)としている空間の中身を分類整理すれば、どんな空間でも、少なくとも二つには分類される、としても一般性を失わないからである。なお、図中の菱形分岐で、下また

93) 現在(09年9月)、立命館大学経営学研究科の前期課程に在籍。

94) 同過程の08年度の修士で、現在大学職員(関西大学)。彼は筆者の院ゼミ出身で、現在も私の研究協力者であるとともに、若手の協同研究者でもある。

95) 筆者の開発してきたアンケート調査設計手法では、第一主成分のほか、三つの主成分を予め創り込んでおくことが出来る。

96) この他にも、筆者がこの論文を執筆するにあたり、彼は資料検索など、多大な貢献をしている。それゆえ、修士論文を構想中の彼には、筆者に断りなくこの論文のどこを引用するも可である旨を伝えてある。

97) 立命館大学の『国際言語文化研究紀要』Vol.No4 に投稿予定。

98) これは、筆者と先に紹介した奥山氏との完全な協働研究の成果である。

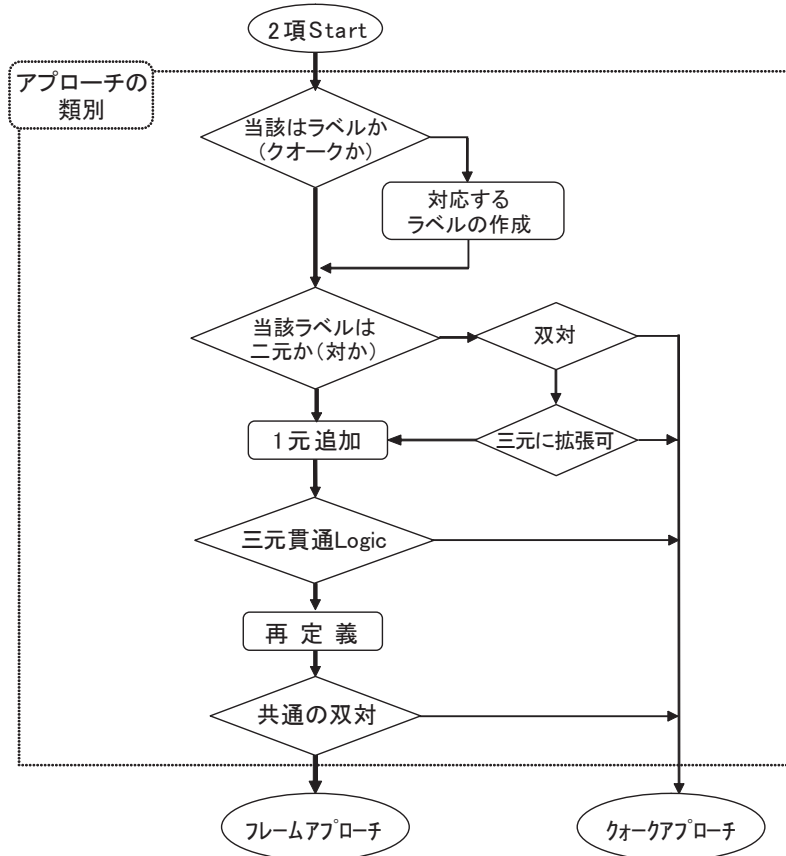


図1 場を科学するフロー・チャート(の一部)

は左の出口は「Yes」の場合で、右の出口は「No」の場合である。類別後もフロー・チャートは続くが、それについては応用編で紹介する。

おわりに

本論文は、筆者が従来別々に考えていた「三元と双対」を、益川・小林理論から、直積にすることを思いついたもので、その論拠を素粒子論に求め、その方法論的応用を諸科学に敷衍しようという趣旨である。筆者には、真田家の旗印に使われている六文銭や、ボルト・ナットのナットが正六角形であることも偶然だとは思えない。特に、後者は力学的に合理性があるからというよりも、半径で円に内接している自然さが力学的な合理性を演出しているのだろう。仏教に三世があるのも肯える。

半世紀近く経て久しぶりに素粒子論を勉強した。以前学んだことがあるといっても、実体は名古屋大学理学部物理学科に属しておられた高校の先輩から耳学問をしていたに過ぎないが、この間、坂田モデルからクオーク説まで、よくもこれだけ変貌したものだと思う。筆者もその間に、理系からいわゆる文転をしたのであるが、益川・小林両氏の理論は転向者のみならず、文系の人にも十分に理解可能な話である。現に、私が社会人を相手に主宰しているゼミは文系の人が中心であるが、概ね私と同程度に理解しえた様子である。

参考文献に挙げておいた南部さんの本は、「存在とは何か」を考えさせる良質かつ品格のある書物であった。これを所持していた上記社会人ゼミの大嶋知博⁹⁹⁾さんから、私はこの本を奪うようにして読んだが、それがこの論文をかく基礎を私に付与した。今回の執筆中、一貫して「学問は分類するも、分断すべからず」と信念し続けていた。筆者は既に定年退職しているが、この論文をものにして、私も漸く学問を語る資格を得たと実感している。

この様な心境になりえたのも、決して優秀とは言えない私を、物事をその本質に遡って考えるよう、躡けて頂いた小学校以来の先生方のお陰である、と感謝している。生涯を通して見ると、友人や同僚、さらには教えたゼミ生からも、思えば大変な協力をえたものです。中でも、大学院以来の友人である田原孝氏¹⁰⁰⁾とは時々々の主題はもとより、学問の存りようや、科学に接する姿勢まで、共に議論しえて、然るべき謝辞を思いつかない。

この論文は、私としてはかつてない力作のつもりです。公的であるべき学術雑誌の紙面をお借りして、はなはだ恐縮ですが、妻幸子と二人の娘にも礼を述べることをお許し頂きたい。

参考文献

- 1) 南部陽一郎『クオーク第2版』講談社 BLUE BACKS, 2008年10月
- 2) 小林誠『消えた反物質』講談社 BLUE BACKS, 2008年11月
- 3) 別冊日経サイエンス『素粒子論の一世紀』日経サイエンス社, 2009年5月
その他, 物理学辞典や量子力学の教科書

参考論文

- 4) 上總康行「借入金依存型投資計画と回収期間法」『大阪経大論集』第53巻第3号, 2002年9月
- 5) 澤邊紀生「管理会計の実践と理論の相互発展に向けて 一制度進化の観点から一」『会計』第175巻第3号, 2009年3月号
- 6) 山本友太ほか「組織の価値実現過程 一管理過程サイクルにおける PDCA の位置一」『立命館経営学』第48巻第1号, 2009年5月

99) 鈴木幸治税理士事務所(愛知県西尾市)勤務, 名城大学経営学研究科院生。

100) 医師, 元日本福祉大学教授。

資料 1 三元と双対の例 (自然, 自然科学系)

場には Logic のある三元が埋め込まれている				
1	公理系	独立性	無矛盾性	完全性
2	数学の三定数	円周率 π	対数の底 e	黄金比率
3	物理の三定数	万有引力 k	光速 c	Planck定数 h
4	光合成	光	CO ₂	水
5	分子活動	固体	液体	気体
6	気体	圧力	体積	絶対温度
7	物理の単位	長さ	重さ	時間
8	槌子	操作点	支点	作用点
9	地球	陸	海	空
10	樹木	幹	枝	葉
11	構造物	機能	強度	美観
12	色の三原色	R	G	B
13	白い三和音	ドミソ	ドファラ	シレソ
14	相互作用	強い	電磁	弱い
15	ニュートン	第一法則	第二法則	第三法則
16	熱力学	第一法則	第二法則	第三法則
17	エントロピー	熱	物	情報
	S			
	ΔS			
18	空間	x 軸	y 軸	z 軸
	方位	前	左	上
		後	右	下

19	数学力	論理	類推	抽象化
20	本能	食欲	性欲	活動欲
21	生活	居	食	住
22	主食	米	パン	麵
23	食物	カロリー	栄養	ビタミン
24	情報処理	入力	処理	出力
25	CPU	制御	演算	記憶
26	放射線	α 線	β 線	γ 線
27	核兵器	核弾頭	運搬手段	3C
28	3C	指揮	調整	通信
29	非核三原則	持たず	作らず	込ませず
30	風流	雪	月	花
31	春の花	梅	桃	櫻
32	動詞花	芍薬	牡丹	百合
33	厚生	保健	医療	福祉
34	医療の質	装備	実施	Outcome
35	手術時間	手術室	麻酔	執刀
		搬入		
		搬出		
36	進化論	変異	選択	保持
	個体			
	群れ			

反対は排他・直和、双対は表裏・並存

① 場によっては、双対から三元に広がる可能性も！

177	定量	定性	感性
178	引力	斥力	無力
179	入力	出力	処理
180	発生	消滅	保持
181	論理	類推	抽象化
182	点	線	面
183	辺	角	形
184	スカラー	ベクトル	テンソル
185	導体	絶縁体	半導体
186	作用	反作用	無反応
187	電界	磁界	
188	逆	裏	対偶
189	変位	速度	加速度
190			
191	電子	陽子	中性子
192			
193			
194			

195	帰納	演繹
196	和	積
197	個々の運動	空間の性質
198	分析	合成
199	Hard	Soft
200	時刻	時間
201	行	列
202	必要	十分
203	Digital	Analog
204	離散	連続
205	収束	拡散
206	直列	並列
207	独立	従属
208	個体	群れ
209	粒子	波動
210	弾性	塑性
211	ゆえに	何となら
212	研究	教育

213	Up	Down
214	けったい	魅力
215	発信	受信
216	治療	看護
217	接続	遮断
218	直流	交流
219	定常	非定常
220	動物	植物
221	線形	非線形
222	幾何	算術
223	微分	積分
224	微分	差分
225	さらさら	どろどろ
226	N極	S極
227	酸性	アルカリ性
228	分離	結合
229	分裂	融合
230		

231	寒	暖
232	開	閉
233	動	静
234	遅	速
235	強	弱
236	雌	雄
237	正	負
238	正	逆
239	山	谷
240	心	体
241	陰	陽
242	煮る	焼く
243	朝	夕
244	味噌	醤油
245	花	鳥
246	S	ΔS
247	On	Off
248		

資料 2 三元と双対の例 (人文・社会科学系統)

場には Logic のある三元が埋め込まれている				
37	産業	第一次	第二次	第三次
38	社会科学	経済学	商学	経営学
39	マルクスの価値	能力	使用価値	交換価値
40	硬貨	金	銀	銅
41	時制	過去	現在	未来
42	科学	自然	社会	人文
43	環境対策	技術	政策	意識
44	国際課題	食糧	環境	軍縮
45	戦争論	戦略	兵站	戦術
46	階層	貧困	中間	富裕
47	運動論	総括	予測	方針
48	人権	血と	汗と	涙
49	リンカーン	Of	By	For
50	三権分離	立法	行政	司法
51	三審制	起訴	控訴	上訴
52	議論	事実	論理	見識
53	経営資源*)	人	物	金
	内			
	外			
54	人称	I	My	Me

55	Model	理論	説明	実用
56	知のフィードバック	科学的知	臨床的知	実践的知**)
57	履修価値評価	学生帰責	教員帰責	学校帰責
58	価値	P	Q	R
59	費目別計算	材料費	労務費	経費
60	人材	ライン	スタッフ	マネージャ
61	将校	尉官	佐官	将官
62	三光作戦	奪い尽くす	焼き尽くす	殺し尽くす
63	仏像	如来	菩薩	明王
64	仏教	前世	現世	来世
65	キリスト教	父と	子と	聖霊
66	権利(義務)	生存	教育	労働
67	学校	児童	生徒	学生
68	言語	自然	科学	芸術
69	狂言	シテ	ワキ	ツレ
70	企業責任	情報公開	説明責任	行動責任
71	評価	自己	第三者	第三者
	事実			
	証拠			
72	双対の型	動詞型	形容詞型	前置詞型

この他、範疇型もある。

反対は排他・直和、双対は表裏・並存

① 場によっては、双対から三元に 広がる可能性も！

249	Top	Bottom	Middle
250	色	香り	味
251	成長	衰退	維持
252	自主	強制	成行き
253	事前	事後	途中
254	エリート	ハーリア	中流
255	貧	富	中間
256	Server	Client	Planner
257	戦略	戦術	兵站
258	戦争	平和	
259	By	For	Of
260	支配	被支配	独立
261	ライン	スタッフ	マネージャ
262	自己	第三者	第三者
263	需要	供給	自給
264	生産	消費	
265	売り	買い	
266	高い	安い	

267	公	私
268	意味論	構文論
269	個人	社会
270	抽象	具象
271	主体	客体
272	主観	客観
273	理念	実態
274	教員	職員
275	特殊	一般
276	潜在	顕現
277	能動	受動
278	源泉	派生
279	Stock	Flow
280	事実	証拠
281	理論	実践
282	理論	実験
283	理論	応用
284	基礎	応用

285	輸出	輸入
286		
287	費用	原価
288	粗(雑)	(厳)密
289	支払い	受取り
290	形式	実質
291	原告	被告
292		
293	手段	目的
294	生産手段	生産物
295	売掛	買掛
296	組織化	実施
297	キャスト	スタッフ
298	ロゴス	パトス
299	債権	債務
300	権限	責任
301	権利	義務
302	徴税	納税

303	元金	利子
304	貸	借
305	費用	収益
306	是	非
307	誘善	応善
308	天国	地獄
309	矛	盾
310		
311	言う	聞く
312	善	悪
313	単純	複雑
314	連携	断絶
315	正	副
316	文	武
317	自	他
318	自力	他力
319	自律	他律
320	自立	助成

*) 情報を四番目の経営資源と見る向きもあるが、正しくは「場の媒質」である。

***) これは本文中にある澤邊紀生氏の説による。

資料 3 三元と双対の例 (世間一般系)

場には Logic のある三元が埋め込まれている				
73	検索 (分類)	大項目	中項目	小項目
74	本	部	章	節
75	写真機の三脚			
76	三色国旗			
77	門松	松	竹	梅
78	家事	炊事	洗濯	掃除
79	食具	ナイフ	フォーク	スプーン
80	三すくみ	ぐう	ちよき	ばー
81	石の上にも三年			
82	三度目の正直			
83	花札	猪	鹿	鳥
84	宝塚	清く	正しく	美しく
85	茶人	爽	健	美
86	武道	心	技	体
87	スタッフ	監督	コーチ	マネージャ
88	陸	山	森	平野
89	水	川	湖	海
90	向こう三軒両隣	ー クォーク		

91	三活	就活	婚活	生活
92	三猿	見ざる	言わざる	聞かざる
93	三文字略字	NHK など		
94	三英雄と杜鵑			
95	三つ巴			
96	高齢者話	健康	年金	孫
97	お出かけ三元	眼鏡	腕時計	携帯電話
98	三拍子			
99	三景観			
100	三国峠			
101	三社参り			
102	人の道	信	義	仁
103	三願の礼			
104	大三元	白	発	中
105	数牌	ピンズ	マンズ	ソウズ
106	昔手目	読み	書き	算盤
107	今Soft	通信	ワープロ	表計算
108	高齢化	分析力	判断力	構想力

反対は排他・直和、双対は表裏・並存

① 場によっては、双対から三元に 広がる可能性も!

321	建設	破壊	滞留
322	往	復	
323	読み	書き	算盤
324	規範	実際	願望
325	愛	憎	無視
326	勝	負	引分け
327	褒める	貶す	無関心
328	老	若	中年
329	難	易	普通
330	米	パン	麵
331	高	低	中
332	保存	廃棄	選択
333	敵	味方	中立
334	入学	卒業	在学
335	出題	回答	採点
336			
337	成功	失敗	
338	浮き	沈み	
339	慶	弔	
340	優位	劣位	

341	表	裏
342	理想	現実
343	虚	実
344	Some	Any
345	And	Or
346	May	Must
347	予測	実際
348	原因	結果
349	質	量
350	長所	短所
351	単	複
352	直接	間接
353	有	無
354	反発	同調
355	集(合)	(離)散
356		
357	部分	全体
358	質疑	応答
359	内	外
360	始	終

361	Here	There
362	Near	Far
363	Push	Pull
364	Under	Over
365	Go	Come
366	Against	Along
367	Rise	Set
368	From	To
369	与える	貰う
370	受容	拒否
371	出発	到着
372	愛しい	厭わしい
373	自然	人工
374	新	旧
375	今	昔
376		
377	喜び	悲しみ
378	疎遠	親密
379	攻	守
380	異	同

381	出	入
382	明	暗
383	軽	重
384	伸	縮
385	忙	暇
386	脱	着
387	紅	白
388	白	黒
389	送	迎
390	太り	痩せ
391	深	浅
392	広	狭
393	騒	静
394	水	土
395	水	火
396		
397	あれ	これ
398	好き	嫌い
399	苦	楽
400	多	少

資料 4 調査設計の概要

依頼元 文科省(仮想)

受注元 調査設計法 FD評価グループ

調査名称	FD評価の場を明らかにする調査		
クライアント(連絡先)	文科省(仮想)		
データ・ソース	<input checked="" type="checkbox"/> アンケート	<input type="checkbox"/> 時系列データ	<input type="checkbox"/> その他既存データ
データ名称	09年度 調査設計法		
設計・解析担当	小野、本橋、藤村、幸田、奥山、川瀬、平井		
アンケート対象	関西・中部・関東圏の大学		
サンプル回収方法	郵送回収		
実施時期	09年7月上旬	入力方式	直接入力

調査目的 :

組織評価としてのFD評価の在り様を探る。

時代の認識 :

I. 依頼者側	大学のユニバーサル化時代において、大学教育の質を担保する必要がある。
II. 調査対象者側	大学の生き残りをかけて、教育の質を担保する評価の枠組みを求めている。

場の設定 :

FDの価値の浸透		1st:FDの実態	2nd:大学当局の志向	3rd:Management方針
双対	トップダウン	形式	授業方法	Control
	ボトムアップ	実質	授業内容	Support

創り込む主成分 :

第1主成分:FD価値の認識度	第j主成分:大学当局の志向
第i主成分:FDの実態	第k主成分:Management方針

設定する目的変数群 :

a. FD価値の認識度	FD意義理解度、FD進捗度、FD効果実感(授業改善、教員・学生の成長、カリキュラムの検証)
b. FDの実態	FD評価取組姿勢、FD評価の位置付け、効果測定方法
c. 大学当局の志向	教育姿勢、授業スタイル、評価対象
d. Management方針	管理姿勢、教員の位置付け、FDの評価者

調査仮説 :

a.
b. 大規模な大学ほど、形式的なFD評価の実施に留まっている。
c. 教育の現場を把握していない大学は、授業方法の改善に終始している。
d. 早くからFDに取り組んでいる大学ほど、Control型のマネジメントになっている。