Title	決定論とは一体何だったのか : 決定論の実像
Sub Title	What was it like to be deterministic?
Author	西脇, 与作(Nishiwaki, Yosaku)
Publisher	三田哲學會
Publication year	2012
Jtitle	哲學 No.129 (2012. 3) ,p.1- 41
JaLC DOI	
Abstract	Philosophy has adhered for a long time to consider what and how to know in the world. The question "what is the world?" and the question "what is knowledge?" have been intricately intertwined: people have tried to know the world and the changes in it. What and how to know in the world essentially depend on the way how the things are determined in it. This kind of investigation has been done through the repetitive intricate interactions among activities represented by the predicates, 'determine', 'occur' and know'. In order to determine something, we need the tools of determining it. They are geometry, logic, and language. The unknown riddles of the world are solved as the determined world by determining the world which is supposed to be determined. This is the claim of determinism. Logical and geometrical determinisms are the determining determinisms, while a block universe model, Zeno's paradox, and the usual physical determinism are the determined determinisms. Causal and mechanical determinisms usually imply logical and linguistic determinisms with several definitions. And so we are not aware of such a basic determinism when we think of problems in classical mechanics. Determine' and being determined' are mutually penetrated. Determining instruments and their operations inform us the determined changes and the determined knowledge is again used to determine the next thing and again further. This kind of repetition has been done gradually when we increased our knowledge. And in this way we are able to think of determinism more clearly than before.
Notes	投稿論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000129-0001

投稿論文

決定論とは一体何だったのか：決定論の実像[1]

西　脇　与　作*

What Was It Like to be Deterministic?

Yosaku Nishiwaki

Philosophy has adhered for a long time to consider what and how to know in the world. The question “what is the world?” and the question “what is knowledge?” have been intricately intertwined: people have tried to know the world and the changes in it. What and how to know in the world essentially depend on the way how the things are determined in it. This kind of investigation has been done through the repetitive intricate interactions among activities represented by the predicates, ‘determine’, ‘occur’ and ‘know’. In order to determine something, we need the tools of determining it. They are geometry, logic, and language. The unknown riddles of the world are solved as the determined world by determining the world which is supposed to be determined. This is the claim of determinism. Logical and geometrical determinisms are the determining determinisms, while a block universe model, Zeno’s paradox, and the usual physical determinism are the determined determinisms. Causal and

[1] この論文は決定論と非決定論に関する研究の前半部分の決定論に関するもので，論文全体の約４分の１程度である．ニュートン以前と以後の決定論，そして19世紀末からの非決定論が全体の主題であり，その最初の部分に該当する．

* 慶應義塾大学文学部教授（哲学）

mechanical determinisms usually imply logical and linguistic determinisms with several definitions. And so we are not aware of such a basic determinism when we think of problems in classical mechanics. ‘Determine’ and ‘being determined’ are *mutually penetrated*. Determining instruments and their operations inform us the determined changes and the determined knowledge is again used to determine the next thing and again further…. This kind of repetition has been done gradually when we increased our knowledge. And in this way we are able to think of determinism more clearly than before.

1.　はじめに

私たちが好奇心を向けた途端，世界は謎に満ちた未知の塊に変貌してしまう．そんな世界について何を知るか，どのように知るかに執着してきた哲学は，「世界とは何か」，「知るとは何か」という問いが競い合う仕方で，世界とその変化を捉えようと腐心してきた．何をどのように知るかは，世界の何がどのように決まるかに依存している．「…として見る，知る」とは「決まった知識」に頼って見る，知ることを端的に表現している．このような探求は「決める」と「決まる」，そしてそれらを「知る」ことの果てしない繰り返しで，現在にまで連綿と続いている．

世界の変化とは何かが決まり，何かが起こることであり，変化する世界は決まっていく過程としての世界である．何かが決まること，起こることは因果的な変化であると理解されてきた．潜在的なもの，可能的なものが顕在化し，現実のものとなることは，決まっていくことに他ならない．「潜在的，顕在的，可能的，現実的」といった魅力的だが，問題も含む厄介な概念の導入の前に，まず「決まる」ことを世界の変化の素直な表現としてみよう．変化を知ろうとする私たちは決まる世界を決めなければならない．決めるのは決まることを表現，表象するためである．

変化＝「決まること」＝「起こること」を認めるならば，変化を表象す

るために「決めること」を言語的に明確化するか，変化を「起こすもの」を物理的な原因として同定するかは，異なるように見えても，実は変化がもつ二つの側面に過ぎない．このような決めること，起こすこと，そして知ることの絡み合った状況を，かのメアリーの例を使って具体的に考えてみよう．[2] メアリーのトークンとしての色経験とタイプとしての色知識の経験との違いにその謎への解答が隠されており，知識獲得の実態こそが重要な鍵となっている．感覚質の経験からスタートし，知識としての色を決める過程を描くことによって，謎の経験から何を決め，その結果，何が決まっていくかが明らかになっていく，そこに決定論のもつ認識論的，方法論的な特徴が顕現していることを示してみよう．

色を知覚する経験は，色に関する知識を学習する経験とは大変に異なっている．赤を初めて経験するメアリーは既に色の知識を学習している．色の学習経験にしろ，色の直接の知覚経験にしろ，色の経験を一切もたずに，赤色を見るなら，人は一体どんな反応をするのだろうか．残念なことに誰も赤色の初体験を覚えていない．メアリーは色の強烈な刺激に心奪われるかも知れないが，何しろ最初の経験であるため，その刺激が何かは咄嗟にはわからないだろう．彼女の豊富な知識は初体験であることを変えることはできない．人間の本性から当然の如く好奇心が直ぐに生まれ，その刺激の正体解明へとメアリーを駆り立てることになる．実際，私たちの知的な好奇心は謎だらけの強烈な知覚経験に対して特に鋭く反応するようにできている．

色の知覚の経験，色の知識の経験の両方に共通の「経験」とはどのようなものなのか．一方が個人的で，他方が科学的とでも言うのだろうか．異なる経験が異なる情報を含むかと言えば，そうではない場合がある．赤色

[2] Jackson (1986) は，メアリーは色の物理主義的な知識をすべてもつが，色を一度も見たことがない，という設定のもとで，最初にメアリーが色を知覚したとき，新しい知識をもつかどうか，と問うた．これが Jackson の知識論証 (knowledge argument) である．

の経験は違った情報を通じて経験することができる．赤信号，赤リンゴを見るのは違う情報の経験であっても，見た色が赤で同じ色だという経験内容をもっている．だから，同じ赤色の経験をしたことになると言って構わない．個々の経験はトークンであり，物理的な出来事であるが，それら経験の内容はその出来事の意味と看做され，それゆえ，タイプである．知識は基本的にタイプであるのに対し，情報はしばしばトークンである場合がある．[3]

感覚質の経験は経験のトークンとしての側面についてのものである．その経験が「主観的」なのは内容ではなく，トークンとしての経験の生じ方である．主観的経験の内容は主観的である訳ではなく，感覚質のもつ情報内容は，知覚像とは異なる別の表現形式の知識に置き換えることができる．タイプとしての経験は経験内容である．トークンとタイプの違いは，物理的な出来事としての経験そのものと意味としての経験内容の違いである．

経験そのものという表現には様々な意味があるが，経験をありのままに実在的なものとして捉えたいならば，経験を出来事として捉えることになる．それは経験をトークンとして捉えることであり，経験の内容には関知しない捉え方である．一方，経験内容は言葉や絵，像で表象されるものであり，明らかにトークンではない．経験が唯一性をもち，ユニークだと言うのは，トークンとしての経験の特徴であり，タイプとしての経験の特徴はその表象内容にある．「何かについて」の経験という志向性は，経験の内容に関する性質である．感覚質の知覚経験はトークンとしての経験であり，色に関する情報内容，知識はタイプとしての経験である．このようにトークンとタイプの二つの側面に経験を分けて考えるなら，メアリーには

[3] トークンとタイプの区別，個別的なものと一般的なものの区別，これら区別の一般論は個物と概念の区別として展開できるのだろうか．だが，個物とトークンは異なるもので，個物には一回限りの経験という特徴はどこにもない．

色のトークン経験はなかったが，色に関するタイプ経験が豊富にあり，それら二つの経験が色の感覚質の刺激経験を通じて関連させられ，後に「何色の経験」だったかがわかった，というのが Jackson の挑戦への穏やかな解答になるのではないのか．トークンとしての経験，出来事としての経験ではメアリーは初体験をしたのであり，タイプとしての経験では，後日それはメアリーのもっていた色の知識と合致する，色の経験であることがわかり，経験内容に関しては，初体験ではなかったということになる．

トークンとしての経験は経験するという出来事であるから，経験すると同時にトークンが存在していることになるが，タイプとしての経験は経験内容であり，出来事としての経験の生起ではない．それゆえ，暫く経ってから，どのような内容であったかがわかるということが普通である．トークンの内容の決定や確定は時間的に後になるのが通常のことである．それゆえ，いつの時点のどのような経験か，何と同じ経験か，何と異なる経験か，といったことが経験した後に暫くしてわかってくる（未知のままに残るものもある）．

未経験の感覚質の刺激が与えられても，咄嗟にそれが何かはわからない．その意味でメアリーは得体の知れないものを初体験したと言っていいだろう．トークンは内容に関わらないが，「わからない，何だ」という反応を惹き起こし，それが好奇心を惹起する．わからないという認識的な反応をもつ，トークンとしての色経験は，それまでにない経験としてメアリーの好奇心を大いに刺激することになる．一方，タイプとしての経験は，いつ，どこで，どんな風に経験するかではなく，「何を経験したか」に対する解答である．それは経験した後で（時間をかけてゆっくりと）決まってくる事柄と考えて構わないだろう．内容は将来変更を受ける可能性

さえもつものであり，それがタイプとしての経験である.[4]

このように「決める，決まる」の過程を見てくると，決定論は哲学的主張などではなく，知識獲得の方法論の一部であることがわかるだろう．知識獲得の過程は決定化の過程であり，知るとは決めることであり，知識とは決まったもののことである．世界の出来事が決定していることを知り，決め，決まった結果がまた決定的という性質をもって起こることが決定論の認識論的な側面であり，それは知識獲得の役割を担っている.

さて，このような決定論への見方の変更は，非決定論の新しい見方も誘発する．決めることができない，決めることに失敗する，という意味での非決定論，予測ができないという意味での非決定論とは認識論的に解釈された非決定論であり，不完全性や非決定性，不確定性と呼ばれる，やはり認識論的な主張に繋がっている.[5]

2. 決まること，起こることを決める

私は冒頭で，世界の謎は決まる過程を決めることによって「決まる」世界として解明される，と述べた.「ある」が形而上学で,「動く」が物理学で，そして「生きる」が生物学で基本となる述語であるように，認識論では「知る」が基本となってきた.「測る」は「知る」の実証的な側面を支える述語で，数学的な命題を知ることとは異なり，経験的な情報を得ることである．経験科学における観測，測定は，知覚レベルでの情報獲得であり，データは「測る」ことによって獲得される．何かを経験的に知るとは，したがって，その何かの情報収集を精緻にしたものである．測定，デー

[4] 非決定論が生まれる一つの理由は，タイプの導入にある．トークンは決定論的であっても，タイプは非決定論を誘発し，そこから因果的でない非決定論が生まれる．論理的な非決定論の一つが後述の三値論理のシステムである.

[5] 知る，知らないとは独立した，実在論的な非決定論があるか否かは，実在論的な決定論の場合と同じ解答を得る．所与としての非決定性は所与としての決定性が否定されるゆえに，同じように否定されることになる.

タ，情報，表象，知覚，これらの働きが経験世界の多様な内容を生み出し，その結果が神話的な世界とは異なる科学的な世界を形成することになった．私たち人間が自ら謎を追求し，それを解明し，喜びや苦しみを選択できる世界という意味で，「科学的な世界」より「人間的な世界」と「神話的な世界」という対比の方が適切であろう．人間的な世界を描写し，説明するための基本装置が幾何学である．幾何学は神の言葉ではなく，人間が生み出した知識であり，その知識によって描き出される世界が人間的な世界である．ターレスは平穏な神話的な世界に最初に異議を申し立てた張本人である．世界やそこで起こる出来事について疑問をもち，その疑問を解決することこそが世界を知ることなのだというのが，ターレスが私たちに植え付けたことである．[6]

神話的世界に謎や不安がない訳では決してない．そこにも悩みや争いは存在し，人々の日常世界が展開されていた．だが，謎や悩み，不安や怒りの向う対象が神話の時代と科学の時代は異なる．見える世界から測る世界に変え，測る装置を幾何学によって信頼できるものにした，それがターレスのもたらした変容であり，プラトン以前の哲学的な探求には現在の哲学の原点が幾つも含まれている．[7]

因果的決定論 (Causal Determinism) の代表と言えば古典力学に基づく決定論である．[8] 物理学が生まれる以前から考えられてきた因果的でない決定論があり，それらをまとめて「非因果的決定論」と呼ぼう．それはさ

---

[6] ターレスの成果を歴史家は二つの異なった仕方で捉える．一つは近代科学的な思考の先取りであり，もう一つは神話を合理化したことである．(Guthrie, 1962, p.70)

[7] ホワイトヘッドの次の一文は大変有名であるが，プラトン以前の哲学には当てはまらないだろう．*The safest general characterization of the European philosophical tradition is that it consists of a series of footnotes to Plato.* (Whitehead, 1979, p. 39)

[8] ラプラスの普遍的な決定論がその代表格である (Laplace (1816, 1995), Hoefer C. (2010)).

らに「論理的決定論」と「幾何学的決定論」に分かれる．私たちが言葉を使い，論理的に考える際に，その言葉や論理の規則が決定論的な性質をもつことは不可欠である．言葉や論理，そして数学に従って決めるという認識論的な決定論は，因果的な変化の決定性ではないという意味で，静的な決定論 (Static Determinism) である．形式的な言語について言えば，統語論は決める規則であり，意味論は決まる内容である．そして，「決める」と「決まる」が同じ内容をもつことが完全性定理という形で保証されるならば，決めたものが決まったものとして，そしてその逆が実現できることになる．どのように何を決めるかは論理自体ではなく，それを使う私たちに委ねられることに注意すべきである．トークンとしての命題は慣性，惰性という性質しかもたず，命題内容のもつ「力」は論理とではなく，知識と結びついている．

2.1　論理的決定論

世界の謎を解明する上で「論理的」であることはどのような役割を演じてきたのか．論理的でなければ，世界が何であり，変化がどのようなものかを「考える」ことさえできない．それができなければ，世界の変化がどのように決まるかを探求することなどできない．私たちが論証する際に従う論理的な規則は，それを破ると矛盾が生じるという意味で，守らなければ推論ができないという仕方で，私たちを拘束している．論証のもつ一般的な性質は論理規則に従うという意味で決定されている．論証を構成するとは記号系列を決めていくことだが，その「決め方」は論理の規則を巧みに操ることに懸かっている．

ここで振り返るべきはアリストテレスの有名な海戦である．[9]

[9] 山本光雄訳『命題論』参照．二値性と物理的な世界との関係については Peacock (2005), McCDall (1966) 参照．さらに，それと量子力学の解釈の関係については Spekkens (2007), Conway and Kochen (2006, 2009) を参照．

(1)　明日海戦があるだろう．
(2)　明日海戦はないだろう．
(3)　(1) が（今日）真であるか，(2) が（今日）真であるかのいずれかである．（論理的決定論）
(4)　(1) が（今日）真であるか，(1) が（今日）偽であるかのいずれかである．
(5)　それゆえ，今日何をしてもいずれが真かを変えることはないだろう．

上の論理的決定論は二値性の原理 (Principle of Bivalence) と呼ばれ，(4) の形を一般的に書くと，「どんな命題も真であるか，偽であるかのいずれかである」となる．この二値性の原理を解きほぐしてみよう．

真理値は二つの値だけである．
それらの真理値は真と偽である．
付値関係は関数である．
付値関係は全射関係である．

まとめ直せば，定義域が命題の集合で，値域が真と偽の二値の集合からなる全射の関数である付置関係がある，が二値性の原理ということになる．どんな命題も付値関数によって写像され，その値は真か偽のいずれかで，その逆も成り立つ．これが二値性の原理であり，命題と真理値の間の関数は命題がもつ意味論的な性質を表現し，どのような変化が起こるかを記述するための最も基本的なルールとなる．

「論理は二値性の原理に従うのか」という問いは曖昧だが，論理が二値的であるとは二値性の原理を満たすモデルが少なくとも一つあることである．排中律 (Law of the Excluded Middle) は「$P \vee \neg P$」と表現でき，二

値性の原理とよく似ている．だが，二値性の原理は論理システムについての原理であり，排中律はシステム内で成立する定理である．二値性の原理を「命題は真であるか，真でないかのいずれかである」と書き換えても，それは命題の否定についてではなく，真理関数としての否定である．一方，排中律は結合子としての否定に関する規則である．排中律は直観主義論理では妥当でないが，任意の P に対して $\neg\neg(P \vee \neg P)$ という弱い関係が成立する．[10]

未来の出来事が決まっておらず，それゆえ，過去や現在の出来事と同じようには扱えず，論理も異なるという考えが三値論理の採用につながるが，ここには過去や現在と未来との間の非対称的な関係が前提されている．[11] 私たちの知覚経験は過去と未来で大きく異なるが，抽象的な知識に関しては時間対称的なものが多い．後述の時間対称的な Block Universe Model は不確定の未来という考えとは相容れない．[12] また，幾何学だけで

---

[10] 二値論理と多値論理の違いは次のパラドクスで説明される．確定しておらず不定である (indeterminate, indefinite, ambiguous) ことが無限の意味の源の一つであるが，有限でも曖昧な場合の典型が Sorites と呼ばれてきたパラドクスである．Sorites は確定した状態と不確定な量についての曖昧さが生み出すパラドクスで，20 世紀にはファジー論理，多値論理として研究された．次の推論から明らかなように，不確定なものが誤った結論を生み出す元凶になっている (Lukasiewicz (1922), Williamson (1994)). また，確率や統計に関しては，Hajek (2003), Hajek and Hoefer (2006) を参照．
（推論）古伊万里の大皿に山盛りの黒豆がある．小さな黒豆 1 個をつまんでも大皿には山盛りの黒豆がある．それゆえ，何個つまんでも大皿には山盛りの黒豆がある．

[11] 二値性の原理は，定義域が命題の集合で，値域が真と偽の二値の集合からなる全射の関数である付置関係がある，と表現できたが，決定論を回避するために考えられた一つの仕方が三値論理だった．これをさらに一般化すればファジー論理となるが，値域が [0, 1] の実数であることは命題の値が決まっていない訳ではない．[0, 1] の中のいずれかの実数が値となっている．その意味では真理値は決まっている．それでも私たちは未来が決まっていないと思う．客観的な意味で決まっているとはどのようなことかという問題は何も解決されていない．

[12] 現在が動き，未来が開かれている Block Universe Model では時間非対称的になる．このモデルについては，Petkov (2005, 2006), Putnam (1967), Rietdijk (1966), Stein (1968), Sider (1997), Earman (2008) を参照．

なく数学全般のモデルも矢張り不確定の未来という考えとは合わない．

2.2　幾何学的決定論

ユークリッド幾何学を *The Four Pillars of Geometry*[13] を使って確認しよう．ユークリッドは「任意の二点間に直線を引くことができ，任意の中心と半径をもつ円を描ける」と仮定し，直定規とコンパスによって作図可能（構成可能）な図形を対象にした．彼が証明する命題はみな直線と円から作図可能な図形についてのものである．「図形が動く」ことを使った合同の証明を見てみよう．それは Book I の命題 4 の証明が最初で，その命題は,

二つの三角形の二つの対応する辺が等しく，それら辺の間の角が等しいなら，残りの辺や角も等しい,

という内容である．ユークリッドは一つの図形を動かし，角と辺が一致することによって合同を証明したが，現在ではこれを公理として認めてしまう．その方が運動という概念を幾何学に導入するより簡単だからである（同書，p. 24）.

ユークリッドの幾何学には多くの暗黙の前提が使われている．正三角形の作図という彼の最初の証明において二つの円の交わりが点をもつとされているが，彼の公理からはそのような点の存在は保証されない．このような不備は 19 世紀に指摘され，不備をなくす試みが Hilbert によってなされた．[14]

---

[13] Stillwell (2005)

[14] *Grundlagen der Geometrie* (1899). ヒルベルトの公理系には基本的な公理のほかにアルキメデスの公理，デデキントの公理が採用されている．アルキメデスの公理は，どんな長さも他の長さに対して無限に長くはない，デデキントの公理は，線にはギャップがない，つまり連続である，という主張である．

座標系の導入は 1630 年代にフェルマーとデカルトによって考えられ，それを最初に出版したのがデカルトだった．それによって，幾何学は大きく変わり，直定規とコンパスによる作図を代数的に表現できるようになり，実数はユークリッド平面幾何学のモデルをつくるのに使われる．各点が各実数である実数直線が存在すると，各点が実数の順序対である実数平面も存在する．直線の方程式が考えられ，それは $y=ax+c$ と表現できる．すべての直線は同じような形式の方程式をもち，次のように表現できる．

任意の定数 a, b, c に対して $ax+by+c=0$.

このように表現できることから，直線や曲線が方程式によって定義され，それら方程式がユークリッドの公理に対するモデルとなり，幾何学は実数の性質から導き出されることになる．

ユークリッド幾何学が力学と違うのは，運動変化を一意的に決める法則が幾何学自体にはないという点である．これは，言葉が私たちの意思や感情を表現しても，言葉の表現が意思や感情をつくるのではないのと似ている，図形を移動することはどのような理由があったとしても，私たちが行うのであって，図形が法則に従って自ら動くのではない．図形とその移動についての決定論的な特徴をまとめておこう．

(1) 幾何学の中には力学的な法則がないため，変化の過程は一つには定まっていない．回転移動，平行移動を始め，移動の種類は幾何学的問題になっても，移動の原因，移動の距離や速度は幾何学的問題ではない．

(2) 状態や対象は図形，つまりタイプとして表現される場合がほとんどで，トークンとしての図形が存在するか否かは意見が分かれ

る.[15] そのタイプはトークンとしての図形や対象の同値類をつくり，同値類とその論理的な閉包(Closure)からなる空間を容易に想定できる．トークンとしての個別的な変化はタイプとしての変化としてしか表現，理解できないところに幾何学の特徴がある.

「因果的でない」という点で幾何学的決定論は論理的決定論，言語的決定論と共通の性質をもち，ユークリッドの定義，公理，公準はその決定論的な規則となっている．タイプとしての決定論という特徴も力学的な決定論とは異なる特徴である．そして，この「タイプ決定論」がトークンレベルでの非決定性を許す，直接の理由となってくる.[16]

2.3　点と線についての謎

幾何学的決定論の根本にある問題を次のような問いから再現してみよう.

点から線はつくれるか．線を分割すると点になるか.[17]

この一見易しそうな問いは，次のように解答とその理由が二つに分かれてしまう.

---

15 ノートに書く三角形はトークンであるが，それはタイプとして証明に使われている．トークンとして三角形を描いても，使われる状況はいつもタイプとしての三角形である．その意味で幾何学的対象はタイプとして存在している．トークンは疑似的な似姿のようなものに過ぎない.

16 タイプとトークンの区別が決定論，非決定論の違いを生み出すことは，後述を参照.

17 線から面はつくれるか．面を分割すると線になるか．面から空間をつくれるか．空間を分割すると面になるか．これらの問を一般化すると，次のような問が出てくる．空間から時空はつくれるか．時空を分割すると空間になるか．n 次元空間から $(n + 1)$ 次元空間はつくれるか．$(n + 1)$ 次元空間を分割すると n 次元空間になるか．n 次元空間から $(n + m)$ 次元空間はつくれるか．$(n + m)$ 次元空間を分割すると n 次元空間になるか.

[解答 1]：点には部分がなく，それゆえサイズがない．サイズのない点をいくら集めてもサイズは生まれない．点からスタートする限り，サイズの生まれる原因や理由がどこにも見当たらない．だから，「延長のないものから延長は生じない」，「何ものも理由なしに存在しない」といった形而上学の原理に従い，上の各問いについての答えは No である．

[解答 2]：区間［0, 1］が 0 と 1 の間にある点（＝実数）からできているように，実数の集合は個々の実数を要素に含んでいる．点から線ができ，線は点に分解できる．線は点の集合であり，点は線の要素である．それゆえ，上の各問いについての答えは Yes である．[18]

現在の正解は [解答 2] であるが，その理由は「実数」概念にある．実数を使って線を解釈すれば，その線上の点は一つの実数値に対応する．区間［0, 1］にある点を再びすべて集めれば区間［0, 1］をつくることができるし，区間［0, 1］を限りなく分割していけば点である個々の実数に到達できる．実数によって点や線を理解しようとすれば，具体的にどのように点を集めるか，どのように線を分割していくかが曖昧という漠然とした不安は残るが，点から線をつくることができ，線を分割し続ければ点に到ることが証明できる．[19] 私たちのように実数を使って点や線を考えるなら

---

[18] [解答 1] の真意は「0 をいくら加えても 0 のままである（0＋0＋…＋0＋…＝0）」という命題を思い起こせばわかるだろう．0＋0＋…＋0＋…＝0 という表現は「極めて曖昧」で，そもそも数式とさえ呼べない．[解答 2] は「サイズのない点を集めるとサイズ（長さ）のある線ができる」ことを納得できるかどうかが鍵となっている．

[19] 細部が曖昧だという漠然とした不安は，これら一連の操作が「構成的 (constructive)」に可能か否かに関する不安である．この不安を重大な問題と考えた直観主義者は，不安は不確定なものの存在にあり，それを無視できないと考えた．私たちが数学的対象を具体的につくり出せるか否かという認識上の不安はあるが，それを無視することによってより広い範囲が射程に入り，広大な無限の世界を扱うことができると考えたのが通常の数学者である．

Yesが答えとなり，実数を使わなかったギリシャ人なら答えはNoとなる．実数は連続体だが，自然数は離散的で，これがYesとNoの違いを生み出している.[20] ここまでの話に哲学的な理屈を与えて，理論化しようとすると相当に厄介で，実際，[解答2]の正しさを誰もが納得できるように説明するのに20世紀までかかってしまった.

点にサイズがあり，延長をもつとする．その延長の半分も延長であり，それは元の延長の一部分である．よって，点は部分をもつことになり，点には部分がないというユークリッドの定義1に反する．それゆえ，点にはサイズがない．また，点にサイズがあれば線にもサイズ，つまり幅があることになる．だが，これは線の定義2に反する．よって，ユークリッドの定義の1, 2いずれからも「点にはサイズがない」ことが得られる．また，線を限りなく短くしていくと最後にはサイズのない点に至る．この「サイズの消失」を量から質への転換などと考えても何も得られない.

[20] 上の問いはいずれも点や線に対応するものが物理的には時間や空間だと考えると従来の議論の自然な解釈になるが，対応するものが物質の場合はどうだろうか．物質は明らかにサイズや延長をもっている．実際，ギリシャの原子論は物質が限りなく分割できるものではなく，分割には終着があり，それがこれ以上分割できない，不可分の「原子」であるという仮説であった．それゆえ，原子はサイズをもつ「物質の最小単位」と認められ，原子からの物質の構成も有限の時間，手続きを通じた有限の原子数をもったものと考えられた．高々自然数を用意しておけばすべての話は何の問題もなく済んでしまう．自然の中のどんな物質もその数がどれ程多くても有限に過ぎないという確信は，物質についてのこの原子論に由来している．だから，私たちは浜の真砂の数や見上げる夜空の星の数を莫大だが有限個しかないと信じている．原子論が正しいとすれば，点である原子から「原子線」も「原子面」もつくることができるが，そこに興味を抱くことは何もない．すべては有限の操作に過ぎず，点と線の本質的な区別がないからである．点にも線にもサイズがあり，その長さは単に程度の違いに過ぎない．それゆえ，Noと答えた人の答えとその形而上学的理由は時空については誤っているが，物質についてはまったく正しいことになる．物質に関する原子論とその無限分割可能性は，したがって，両立しない概念であり，いずれも論理的に正しいわけではなく，その意味で正に仮説である．それゆえ，時空の量子化（＝原子化）や物質の無限分割化はいずれも論理上は可能な仮説ということになる.

点に部分がないことから，サイズのないことがわかるが，そこに隠れていた前提は分割可能性である．自然に「サイズがあり，部分がない」ことは，自然に「サイズがあれば，部分がある」という主張と両立しない．ここでの違いは自然が「分割できない」ためである．原子論と全体論の関係を確認しておこう．原子論の下での原子の全体性と全体論の下での宇宙全体の全体性は異なっている．ユークリッドの定義を使った場合，原子が部分をもたないことから，分割性を使って原子がサイズをもたないことを証明できる．宇宙は当然サイズをもつ．しかし，それは部分をもたないというのが全体論の主張である．すると，原子論では「サイズがあれば，部分がある」という主張が正しいのに，全体論では「サイズがあって，部分がない」ことが正しい．この両立しない理由は分割可能性にある．分割可能性が成立する原子論ではそれを使って「サイズがあれば，部分がある」が証明されているが，全体論では全体は分割できないという主張から分割可能性が使えない．それゆえ，サイズがあるのに，「部分がない」と仮定しても矛盾は生じない．だが，分割可能性が使えないことの代償は想像以上に大きい．[21]

3　Block Universe Model と分割可能性

3.1　パルメニデス哲学：不変性，次元

ギリシャ哲学の最初の関心は自然に向けられ，自然の謎を既知の自然のものを使って考え，説明する自然主義の原型が生み出された．タープスが偽の原因として退けたのは自然の中には存在しないものだった．変化を変化しない普遍のもので説明すること自体は疑われない中で，変化自体を全面的に否定する最初の哲学者がパルメニデスだった．存在するものはすべ

[21] 幾何学的な「点の原子論」はデモクリトスから始まる「形而上学的な原子論」とは異なることがわかる．原子はサイズをもち，かつ不可分というのが形而上学的な原子論の主張である．

て不変で，生成も消滅もなく，運動変化も幻覚でしかない．このような主張を文字通りに信じ切れる人はいても僅かだろう．彼の主張を文字通りに信じるには生命の進化や社会の歴史だけでなく，自分の誕生や死を含んだ生活経験そのものを否定しなければならないからである．このパルメニデスの無謀とも思える主張は仮説でも経験的事実でもなく，より基本的な前提からの帰結である．それを信じられないと思う人はパルメニデスの主張のより具体的表現であるゼノンのパラドクスに対峙し，それを解かなければならない，と言われてきた．確かにパルメニデスの主張とゼノンの主張に違いはなく，二人とも運動を否定する．だが，二人の否定の理由は異なっている．それゆえ，ゼノンのパラドクスを解決してもパルメニデスの主張が否定されたわけではないし，パルメニデスの主張が否定されてもゼノンのパラドクスが解決されたことにもならない．[22]

パルメニデスの哲学は次のような思考と存在の関係に関する基本前提からなっている．

対象を考えることができるなら，それは存在でき，その逆も成立する．
対象が存在しないならば，それは存在できず，その逆も成立する．

これら二つの前提から次の命題が得られる．

実際に存在しない対象について考えたり，語ったりすることはできない．

この命題から「存在する」⇔「存在できる」⇔「存在を知る」という同値関係が導き出され，いわゆる様相(modality)の無視が明らかになる．

[22] ゼノンのパラドクスを分割自体が矛盾を必ず導くものと考えれば，パルメニデスの主張の別表現と考えることができるが，特別の分割について矛盾が出るというのでは，パルメニデスの擁護にはならない．

そして，次の命題が導出される．

生成消滅はなく，運動変化はなく，質的差異はなく，そして多数性もない．

どのようにこれらの命題が導出されるかは省き，思い切って現代的な観点から彼の前提を見直してみよう．存在，存在可能性，思考可能性の間の区別を否定する彼の前提の現代的モデルとして Block Universe Model（巻物モデル）を取り上げよう．パルメニデスの世界が数学的で，数学的世界には変化がないことを考えれば，数学的モデルであることがパルメニデスの前提をそのまま満たすことになる．私たちはモデル内で彼の前提が正しいということで満足しよう．このモデルは物理世界を相空間 (Phase Space) で捉え，それに時間軸を加えたものである．相空間に時間の次元を加えれば，絵巻物に描かれた対象はすべて静止したままとなる．そこでは運動変化が動いている形態では存在しない．このモデル内には変化がなく，ユークリッドの幾何学的世界と同じである．[23] これが運動変化は幻覚に過ぎないというパルメニデスの理由と考えれば，私たちもこの数学的モデルには運動変化がないことを彼と同じように認めることができる．[24]

[23] 幾何学的世界に運動があると考えることは不自然ではない．点や線，図形は空間内を動くことができるし，そう考えたほうがユークリッドの考えに合っている．対象を表示するのに使われる点や図形は動かないが，それが数学的な対象である場合は動く．この註は本文と矛盾しない．

[24] パルメニデスの別の主張と言われている一と多の問題はモデルの世界全体が一つであり，相互につながり，全体論が成立していることから説明できる．運動はモデルの次元と深いかかわりをもっている．運動を変化しない形で捉えるために次元が使われ，運動の「動いている姿」は次元を取り去ることによって現れる．次元と運動の関係は後述参照．相空間の次元は粒子の数 n に対し $3n$ 次元であるが，この 3 は時間を含まない空間であり，それゆえ，運動変化が空間内で変化する経過，動いている様として表現されることになる．通常の空間の各次元は運動ではなく，延長に関係し，上下の軸は高さ，左右，前後の軸は距離を生み出している．そのため，運動に関わっているのは時間軸ということになる．Ellis (2005, 2006), Ellis and Rothman (2010), Wharton (2008) 参照．

過去のもの，現在のもの，未来のもの，あるいは可能なもの，現実のもの，語りうるものの区別はこのモデルには一切ない．すべては「ある」という述語で表現され，存在しないものは描かれていない．パルメニデスがこのモデルを採用したという証拠はないが，運動変化が幻覚に過ぎないという理由はこのモデルで十分説明できる．

だが，このモデルを実際に使っている物理学では変化を扱っている．そして，このモデルを物理世界に適用して変化を実際に説明している．このモデルでの変化の説明は，変化を見る私たちの視点をもつ経験の導入によってなされる．例えば，4 次元の世界の軌跡は，その同じ世界を 3 次元で考えた場合，その軌跡上の運動として変化が現れることになる．時間軸を取り去るという次元の還元が運動を見る視点の導入によって補完されることを意味している．また，時間軸を含む 3 次元の空間上の直線は，時間，軸を取り除いた 2 次元では一点から延び続ける線としてその先端が動いている．その動きはある視点から見られた空間的な動きで，「過去，現在，未来」と時制で表現される時間的な視点と協働している．3 次元の世界で対象が運動する様は「過去から現在まで描かれ終わり，未来はこれから描かれることになる」ように描写されるが，4 次元の世界ではこのような時制の区別は登場せず，その必要もない.[25] これを図式化すれば，次のようになる．

4 次元世界の記述 ⇔ 3 次元世界の表象・記述＋視点をもつ運動変化の経験

[25] しばしば時間と時制の違いが問題になるが，時間軸の還元された空間で補完される運動はマクタガートの言う *A*- 系列と *B*- 系列の区別に対して，いずれでの運動とも考えることができる．還元された時間軸を補完する仕方は特に決まっていない．それゆえ，日常生活では *A*- 系列を，物理学では *B*- 系列を使って補完される．補完は他の座標軸でも同じようにでき，*A* と *B* の系列に対応する区別をすることができる．物理空間と生活空間，空間と場所といった区別ができるが，混合した組み合わせはメートル法の一部に尺貫法を使うようなものになる．Hartle, J. B. (2005) 参照．

私たちは時間軸を往来することなどできない．左右，前後，上下は移動できても，時間上の移動は不可能である．[26] こうして，「運動変化が幻覚に過ぎない」ことは，「次元（時間軸）の還元を補完するために運動変化が必要である」ことを意味していることになる．完成された変化，完結した運動が記述・説明されるべきものであり，それは時間軸を加えることによって可能となる．完全な運動変化を把握するには完結した運動変化でなければならず，途中の運動変化の状態では不十分である．次元を増やせば変化はなくなり，それゆえ，変化は補完のための一方便であり，したがって，変化は幻覚に過ぎない．私たちは2次元に描かれた絵画を見て奥行きを理解でき，さらに遠近法を使うことによって3次元の構造がわかる．これは私たちが3次元を知っているからである．同じように3次元でも運動の存在を経験することによって私たちは時間経過がわかる．遠近法と運動はいずれも高次の次元で表現できるものを巧みな工夫によって部分的に表現していると考えることができる．つまり，運動の経験は軌跡としての運動の不完全な表現と考えることができる．遠近法を使った絵が描かれた対象のすべての側面を同じ画面に表現できないという意味で不完全だとすれば，運動経験もすべての運動の特徴を理解するには不完全である．運動変化を完全に理解するにはそれを完結した形で捉えなければならない．運動中の一部ではなく，運動の完結までを捉えることが運動の完全な理解に必要である．

---

[26] 時間の場合の視点と空間の場合の視点の具体的な違いは例を通じて知るのが適切だろう．また，「視点」は自然主義とどのような関係にあるのか．この問題は座標系の導入自体が自然主義にとっては最初から問題であり，実はユークリッド幾何学での図形の位置や他の図形との関係を考える際に図形を移動させる場合に暗黙のうちに気づかれていた問題である．座標系や視点が主観的であるとすれば，それらは認識的である．だが，座標系や視点そのものがモデルや図形に主役として登場しないのも確かである．視点はあるが，それはモデルの要素ではない．視点は座標系によって間接的に与えられ，次元の増減によってはっきり表現されるのは変化だけである．

以上が私の理解するパルメニデスの主張の概略である. 上述の数学的モデル内の不変性はモデル間の不変性，そして，より重要な対称性(Symmetry)につながり, それが現代物理学のきわめて重要な概念にまで成長することになる．ともあれ，パルメニデスの変化の否定はゼノンのパラドクスが主張する運動変化の否定とは異なった理由からである．どう異なるかを明らかにするにはゼノンのパラドクスを見つめなければならない.[27]

3.2　無限小，極限，そしてゼノンのパラドクス

δ を無限に小さい量 (Infinitesimal) とすると，放物線の線分 PQ の傾きは次のように表現できる.

$$\frac{(x+\delta)^2-x^2}{(x+\delta)-x}=\frac{(x^2+2x\delta+\delta^2-x^2)}{\delta}=2x+\delta$$

δ は無限小なので，線分 PQ の傾きは $2x$ となる．この推論で δ は，0と同じように無視できるが，0ではない.[28] この曖昧な不備を救ったのが極限概念であり，コーシーに始まる定義は次のようである.

$f(x)$ が x_0 の近傍で定義されていて，ε がどのように小さくとも，δ を選んで，x と x_0 の差が δ より小さければ，$f(x)$ と L の差を ε よりさらに小

---

[27] パルメニデスの前提が可能性を秘めた深遠な前提だとすれば，次に述べるゼノンのパラドクスが成立する前提は克服すべき障壁でしかなく，とても深遠とはいえない前提である．後述のゼノンのパラドクスは運動変化の否定というより，対象の分割可能性に関するパラドクスであると述べたほうが適切なのである.

[28] 無限小に関する過去の偉人たちの考えを幾つか挙げておこう.

- Newton: 無限小は限りなく消失する量の比が常に近づいていく極限である. (Infinitesimals are not *actual*, but *potential*.)
- Leibniz:「有用な虚構」
- Berkeley: 微積分は矛盾している.（*The Analyst; or, A Discourse addressed to an Infidel mathematician. Wherein it is examined whether the Object, Principles, and Inferences of the modern Analysis are more distinctly conceived, or more evidently deduced, than Religious Mysteries and Points of Faith.*)

さくできるならば，$\lim_{x \to z_0} f(x) = L$ である．

和は「有限」の項に対してのみ定義でき，無限の項の和は意味をもっていない．だが，極限概念を使うことによって無限和を正確に定義することができる．有限の部分和 $S_n = \sum_{j=1}^{m} 1/2^k$ は計算することができる．($S_1 = 1/2$, $S_2 = 1/2 + 1/4 = 3/4$, $S_3 = (1/2 + 1/4) + 1/8 = 7/8$, $S_4 = ((1/2 + 1/4) + 1/8) + 1/16 = 15/16, \ldots$) さて，これら部分和すべての数列をつくろう．

$\{1/2, 3/4, 7/8, 15/16, \ldots, S_n, \ldots = \{S_n\} = f(n)$

この数列の各メンバーは $f(n) = \dfrac{2^n - 1}{2^n}$ で決められる．そこで，無限和 S_∞ を段階的に部分和の数列 $\{S_n\}$ によって定義しよう．

(1)　(数列の極限の定義)

関数 $f(n)$ でつくられる数列 $\{S_n\}$ は次の場合に極限 L をもつ．どんな $\varepsilon > 0$ に対しても，ある $N > 0$ が存在し，$n \geq$ ならば，$|f(n) - L| < \varepsilon$ である．これを $\lim_{n \to \infty}(S_n) = L$ と書く．

(2)　(無限和の定義)

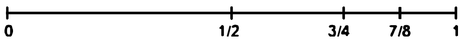
無限和 $\sum_{k=1}^{\infty} f(k) = S_\infty$ は，もし存在すれば，部分和の極限 $S_\infty = \lim_{n \to \infty}\{S_n\}$ である．

解析学のテキストの記述のようになったが，それは最後の無限和がどのように数学的に定義できるかがゼノンのパラドクスを解くためのすべてであるためである．そこで，早速ゼノンのパラドクスに応用してみよう．「アキレスはゴールできない」ことの論証は次のように述べることができる．

(a)　コースは無限に分割可能である．それゆえ，コースの長さは有限部分の無限和である．

(b)　有限部分の無限和は無限である．

結論：アキレスは決してゴールできない．



解析学は仮定 (b) を否定する．（部分和の数列が有限の極限をもつかどうかに応じて）ある無限和は有限である．この場合，部分和 $\{S_n\}$ の数列は $f(n)2^n - 1/2^n$ によって与えられる．それゆえ，$S_\infty = \lim_{n\to\infty}(1 - 1/2^n) = 1$ である．

「アキレスがカメに追いつけない」ことをゼノンは次のような巧みな論証で示したことになっている．

仮定：運動がある
運動は限りなく（つまり，可算無限個に）分割可能である
（この運動の分割可能性を使うと）アキレスはカメに追いつけない
だが，（物理的には）アキレスはカメを追い抜く
これは矛盾である
それゆえ，運動は存在しない

解析学を使った論証は次のように書き換えられる．

仮定：運動は限りなく分割可能である
運動がある

（この運動の分割可能性を使うと）アキレスはカメに追いつける
解析学を使ったパラドクスの解決は「アキレスはカメに追いつけない」と

いうゼノンの命題を無限小や極限概念を使うことによって否定し，その結果，どこにも矛盾はないということを示すものだった．ところで，「運動は限りなく（加算無限個に）分割できない」はどのような意味なのか．「三角形の内角の和は 180 度である」の否定が「三角形の内角の和は 180 度より小さい」と「三角形の内角の和は 180 度より大きい」の二通りに分けられるように，次の二通りの解釈が出てくる．時空が連続的な場合は古典版が，量子重力理論のような時空が離散的な場合は非古典版が正しい仮定として使われ，いずれの場合も矛盾なくアキレスはカメに追いつける．

＜古典版＞
仮定：運動は非可算個 (uncountable) 分割可能である
運動がある
アキレスはカメに追いつける
＜非古典版＞
仮定：運動は有限個 (finite) 分割可能である
運動がある
アキレスはカメに追いつける

ゼノンのパラドクスは「可算の無限分割が有限の時空の中では不可能で，無限の時空を必要とする」という，誤った命題から生まれたものだが，このパラドクスを逆手にとって考えられたのが Supertask で，物理学が決定不能なもの，構成不可能なものを含み，非決定論的であることを示す例としても使われている．私たちが物理世界でできる操作，動作は有限回のものであり，解析学的なゼノンのパラドクスの解決は，可算無限回の操作を要求するため，実際には実現不可能なことを示している．アキレスをゼノンの分割に従って動かすなら，ゴールできるというのが解析的解

決だが，スタートから何歩目で，あるいは左右の足のいずれでゴールテープを切ったかをその解法のみから決めることはできない.[29]

ゼノンの無限分割は私たちの棲む世界に「無限」はあるかという問いを誘発する．こんな簡単な問いでも解答は一つには定まらない．

［解答1］

どんな広い砂漠の砂粒でもその数は有限である．砂粒には必ずサイズがあり，どんな微小な砂粒でも無限個集まったら，砂漠の面積は無限の大きさになり，そのため有限のサイズの地球にはこのような無限に大きい砂漠は収まり切れないからである．同じように，物理世界のどんなものもその個数や量は有限でしかないことになる．したがって，無限個の対象，無限量の塊は物理世界には存在せず，この物理世界は有限のものの集まりからなり，無限はそれを考える私たちの概念の世界にしかないと結論できる．物理世界と数学世界の特徴を明瞭に区別するものとして，この推論が受け入れられてきた．その区別を念のために述べれば，物理世界に存在するものは悉く有限で，無限のものは数学世界にしかない．

［解答2］

力学モデルのように物理世界に始まりや終わりがないとすれば，生まれ続けてきた生き物はこれからも生まれ続けていくはずだから，その個体数には限りがないことにならないのか．秀吉暗殺に失敗し，釜茹でになった石川五右衛門の辞世の句「石川や濱の真砂は尽きるとも世に盗人の種は尽きまじ」や，それを下敷きにした弁天小僧の名せりふ「知らざあ言って聞かせやしょう．濱の真砂と五右衛門が歌に残せし盗人の種は尽きねえ七里

29　Supertaskの基本的な文献は数多いが，的確な例はLaraudogoitia (1996), Alper, Bridger, Earman and Norton (2000), Wilson (2009), Mar and Denis (1999), Silagadze (2005) 参照.

ケ浜…」には，砂粒の限りある個数と，世代が続く限り，尽きることなくこの世に登場する盗人の人数の対比が見事に表現されている．石川五右衛門の辞世の句は物理世界にも無限があることを実に見事に表現している．「1 時間の中に瞬間はどれだけあるか」と問われ，「瞬間」が時間経過の幅の無い切断とすれば，その数に限りが無いことは自明である．物質は有限でも，それが存在する時間や空間は無限の瞬間や地点をもっている．原子の個数は有限でも，それが運動する空間は連続的（したがって，無限）である．

パルメニデスによれば，実無限と可能無限の区別はなく，二つは同じ無限で，完結した無限だけが意味をもっている．だが，アリストテレスは二つの無限を区別し，実無限の存在を否定する．「数が増えていく，減っていく…」といった変化する数の並びは認識上有効だが，数学的対象として考えた場合，他の確定した数学的概念と矛盾なく組み合すことができなくなる．その意味で可能無限は曖昧である．可能無限は外延が曖昧な，反パルメニデス的概念であり，物理世界や心理世界の変化を数学世界にもち込んだようなものである．「完結した運動」だけが意味のある運動であると考える人は，完結した実無限だけが数学的に完結した意味をもつと考える．だが，数学の直観主義者や構成主義者は変化する過程を変化し終えた結果として考えることに同意しない．確かに，変化の只中では排中律が成立しない，典型的な非決定論的世界となっている．

最も実数らしい性質が「連続性」であり，この性質のお陰で微積分が可能となり，それを使って自然を扱ってきた．連続性を支える「限りなく近づく」ことのできる性質[30]が点と線の不思議な関係を基本にして成立している．連続する時間や空間を表現する最も適した数学的対象として，実数

[30] 収束は「限りなく近い」点の存在によって定義され，いわゆる ε–δ 方式によって教えられてきた．前出の説明を参照．

は数学者の関心の的となってきた．

「点が集まると線ができ，線を分割していくと点に到る」という点と線の関係が実数における無限分割可能性という語のもつ意味を独特なものにしている．自然数の集まりも無限に分割できるが，自然数をすべて集めても線をつくることはできない．では，その自然数からどのようにして実数をつくり出すことができるのか．それを示すことが集合論の研究目標だった．この目標はいまだ実現できず，実数が自然数より高い濃度をもつことはわかったが，その濃度が自然数の濃度の次の濃度か否かは今の公理的集合論では証明できない．

実無限，可能無限という区別は一見重要な区別に見える．[31] 無限を扱う認識レベルではそうなのかも知れないが，存在レベルでは大きな意味をもっていない．認識レベルの話とは別に，「集合」は実数のもつ無限性を明らかにできる基本的概念である．

「要素が集まると集合ができ，集合は要素に分解できる」
「点が集まると線ができ，線を分割していくと点に到る」

上の文は比べるまでもなく，類似したことを主張している．点や線，そして実数のもつ基本性質は集合概念によって表現し直され，したがって，集合の基本性質から点や線，実数の性質が証明できることが保証されている．これが意味することは実に大きい．それは，

[31] アリストテレスやカントが二つの無限概念を区別し，直観主義にも大きな影響を与えたと言われているが，「無限の対象を含む集合を考えることができたら，そこから何が見えてくるか」という問いを優先したのが20世紀の大勢であり，その姿勢が集合論を生み出すことになった．そこでは「完結した無限」が集合と考えられ，「生成途上にある無限」は集合とさえみなされない．したがって，運動に関しても同じように完結した運動を対象にすることになる．

(1)　集合論は古典的世界観を支える数学である，

ことを帰結する．実数を基礎付けるのが集合論であり，その実数によって表現されるのが古典的世界である．特に，その時空は実数によって表現されている．古典的世界観の時空に関するアプリオリな前提は古典力学の時空に関する前提と同じであり，その前提は実数のもつ幾つかの性質である．

(2)　いつでも，どこでも対象とその状態が存在し，各状態の物理量の値は決まっている．

対象の性質で重要なのはその性質の内容であって，性質そのものではない．人には体重があり，体重とはどのような性質かという問いと君の体重は何かという問いは同じではない．君の体重が 60 kg であることが内容であり，体重という性質そのものは通常は体重の定義において問題になるに過ぎない．対象の状態を定義する際には状態がどのような性質によって構成されているかが問題になるが，対象の状態の内容こそが状態を決めるのに必要となる．状態の内容は位置や速度の具体的な数値で表現される．

上の文を満たすように実数を使う際，実数のどのような性質を使うか考えると，時空の表現と状態の表現に使われる実数の性質は，実数そのものをそのまま使うことによって済まされてきた．というのも，実数を使えばすべてが同時に満たされ，実数の性質のうちのどれといったものではなかったからである．実数の数学的性質がいつも物理的に有意味だとは言えないが，どんな数学的性質もいつかどこかで物理的に有意味になる可能性をもっている．運動の連続性は変化がすべて連続的ではない中で，運動がもつ特徴である．運動が起こる時間，空間が連続する中で，運動が不連続になるような状況があるだろうか．古典力学は通常次のような仮定を認め

ている.

(3)　連続する時空の中で対象が不連続に運動することは物理的に不可能である.[32]

運動する対象が不変，つまり，生成消滅しない場合，その対象の運動は不連続ではない．というのも不連続な運動が起きるとすれば，対象は消えたり，現れたりしなければならなくなるからである．無論，数学的に不連続な運動を表す不連続な関数を考えることは数学的には十分有意味なことである．だが，そのような対象は物理世界には存在しない.

古典的世界観を支える (1), (2), (3) の前提は日常世界にしっかり浸透している．それらを前提にすべき理由より，前提にしないといかに不自然で，非常識的な事態が生じるか考えてみるとよい．そのように考えた場合，結果があまりに不自然，非常識だという理由から，三つの前提が正当化されたと誤って考えないように注意すべきである.

運動の表現に実数を用いるということ自体が三つの前提を認めることを帰結する.「時間と空間の量子化」という表現は時間や空間を物質の原子論と同じように考えようということを意図しており，正に「時間と空間の原子論」である．すると，すぐに実数が不都合な装置であることがわかる．実数をそのまま使ったのでは原子論の主張と両立しないからである.
そこで点ではなく区間で時間や空間の最小単位を考えるといった工夫が必要となってくる．区間を最小の単位にした場合，対象の運動はどのようになるのか，どのようにそれが表現できるのかという二つの異なる問題が出てくる．前者は物理学の問題であり，後者は言語，つまりは数学の問題で

[32] 不連続は純粋に（数学的に）不連続と擬似的に（経験的に）不連続の二つに分けられそうである．単なるストップモーションと，時間，位置の断絶は異なっている.

ある．

4.　原子論の本性

4.1　原子と虚空

幾何学と原子論の違いは何か．あるいは，サイズのない点とサイズのある点の違いは何か．また，ギリシャの形而上学的な原子論と現在の科学的な原子論との違いはどこにあるのか．原子論はレウキッポスと彼の弟子デモクリトスによって考案され，デモクリトスは 460 B.C. 頃に生まれたということから，ソクラテスより約 10 年若いことになる．ガスリーによれば，

> Atomism is the final, and most successful, attempt to rescue the reality of the physical world from the fatal effects of Eleatic logic by means of a pluralistic theory.[33]

と，べた褒めである．

原子はパルメニデス的な単位として存在し，不可分である．原子の中に虚空 (void) はなく，均一に充満している (plenum)．原子論者は「実在するものの数を除いて」パルメニデスの哲学に同意する．

原子は一様，均質，無色，無味，不可分である．原子はサイズ，形，（多分）重さをもち，運動できる．つまり，原子は「第一性質」をもつ．だが，「第二性質」はもたない．

デモクリトスの原子論的宇宙を覗いてみよう．原子は「虚空」を動き，他の原子に衝突し，原子同士が結びついて複合物をつくる．これら複合物は第二性質をもつことができるが，そのような第二性質は構成要素の原子の第一性質に還元できる．原子の集積は生成のように見えるが，それらは

[33] Guthrie (1965), p. 389.

実在的ではない．原子の複合物の性質も実在的ではない．私たちは習慣から甘さ，苦さ，暑さ，寒さ，色があると思っているが，実在するのは原子と虚空のみである．また，原子論は完全に機械論的 (mechanistic) である．原子の運動は愛，善，精神，理拠に頼ることなく自律的に説明され，何事もランダムには起こらず，因果的な決定論にしたがって起こる．個々の原子はその運動に関して自主的に選択できない．押されて動くだけである．原子の複合体も自主的に選択できない．それらの運動は構成要素である原子の運動の関数に過ぎないからである．

原子論の世界は徹底して機械論的，決定論的である．その世界観は現代の科学的世界観に近い．だが，これは文字通り正しいのだろうか.[34] 原子論は「物理学的な探求」からではなく，パルメニデスとゼノンの「論理的あるいは形而上学的な哲学」から生まれたものである．原子は，真の存在は一者で不可分なもの，というエレア派の哲学に応えるために仮定された．では，どのような意味でデモクリトスの原子は不可分なのか．デモクリトスは次のいずれかを意味していたのではないか．(1) 原子を分割することは物理的に不可能である．(2) 原子を分割することは論理的あるいは概念的に不可能である．(1) がデモクリトスの立場とすれば，原子を部分に分離することは物理的に不可能としても，原子の部分について話すことは意味があるかも知れない．(2) がデモクリトスの主張であれば，この種の話は無意味で，「原子を分ける」という考え自体が技術的な困難さだけでなく，概念的な不合理さを表している．この問題に関して，研究者の間でも意見が分かれてきた．(1) は Burnet が，(2) は Guthrie が主張してきた.[35]

原子の形態についてデモクリトスは原子が量をもつとは考えなかった．

[34] Chalmers (2009, 2010, 2011), van Fraassen (2009) を参照.
[35] Burnet (1892), Guthrie (1962)

原子は異なるサイズをもち，異なる形態をもつと考えた.[36] アリストテレスは「虚空」を否定したが，その理由は何だったのか．虚空中での物体の運動速度が無限になり，無限の速度など存在しないと言うのが彼の否定の理由だった．「虚空」はその後もしばしば哲学の議論に登場し，その存在を巡って多くの議論がなされてきた．「虚空」とは何もないことである．だが，誰も「虚空」を文字通り何もない「無」とは考えない．虚空は空間として存在し，そこに「もの」と呼ばれるものが一つもないというのが常識的な理解である．そこには「虚空」に対する二つの異なる役割が混在している．

虚空には二つの意味がある．それらは「対象としての虚空」と「表象するための虚空（モデルにおける虚空）」である．「零」の二つの意味をヒントにして考えてみよう．0 と 101 を比べると，101 の 0 は数の表記上の意味をもっている．0 が何を指示するかではなく，0 を使って何を表示するかが 0 の意味を決めている．同じように，対象としての虚空は文字通り「無」であるが，モデルでの虚空は距離，面積，体積を表象するための役割を担っている．「何もない」のは文字通り何もないのではなく，単に物体がないというだけに過ぎない．

虚空の中の力学的な運動とは時空の中の運動であり，それを決定論的に把握するためには時空が不可欠であり，時空がなければ運動はそもそも存在さえできない．運動を表現するために時空は物体と区別され，無色透明な形で与えられている．そして，0 が位取り表記に使われるように，時空は運動を表現するために使われる．そこで，この議論を振り返り，3 次元の空間 R^3 を考え，3 次元の座標系を想像してみよう．空間内のどの地点も (x, y, z) という点で表記され，3 個の実数で表される点である．このような点が充満しているのが空間だと考えると，「虚空」は定義上何も含んでいないので，そのような点が一つもないことになる．そこで (x, y, z) と

[36] Chalmers (1998)

いう点をすべて消去してみよう．すると，

$$R^3-\{w\mid\exists x\exists y\exists z(w=(x,y,z)\wedge x\in R\wedge y\in R\wedge z\in R)\}=R^3-R^3=\phi$$

となり，虚空は空集合ということになる．これが虚空の文字通りの解釈でも，現在の科学はそれを採用していない．この考えを時間に対して適用してみよう．すると，空間内の地点を瞬間に対応させ，

　瞬間がなければ，時間がない，

という命題が得られる．「瞬間がない」ことは「点がない」ことであり，結果として瞬間の集合である時間は空集合となり，時間がないことになる．さらに，「空間がない」ことも同じように推論でき，

　地点がなければ，空間がない，

ことが成立する．これらをまとめれば，「瞬間や地点がなければ，時間と空間がない」ことになる．これらが正しいなら原子は運動できず，「運動がない」ことになり，パルメニデスの主張が論証されたことになる．つまり，虚空を空集合と解する限り，瞬間がない，地点がないという前提の下で運動は否定されなければならない．

4.2　二重基準

　物質と時空は異なったものであると明瞭に主張する（それゆえ，古典的な）原子論はパルメニデス的な不変を基本にした哲学を維持しながら，運動変化を説明しようとする野心的な仮説だった．「虚空（あるいは真空）」の存在は，それによって原子の運動や衝突を可能にし，パルメニデス哲学で否定される変化を救う重要な役割を負っていた．哲学的な原子論はその

後の科学革命（ガリレオ，ニュートン）で再び採用され，化学的原子論（ラボアジェ）を生み出し，物理的原子論（マクスウェル，ボルツマン）は統計力学の核心的な仮説となった．だが，原子が実在することは 20 世紀に入るまで確証されなかった．この歴史的な経緯を見ただけでも，他の物質仮説（四元素説，イデア説，質料形相論，波動理論，カロリック説等）と比べ，原子論はギリシャ哲学の諸説の中で格段に優れた自然を説明する仮説であったことに疑いはない．

原子論は物質の不変的性質が原子のもつ性質に還元され，原子の集合である物質が連続的な時空を運動すると主張する．連続的な時間，空間は限りなく分割でき，その中を原子が運動し，互いに衝突を繰り返す．不可分の原子は一定のサイズをもった対象であるから，物質と時空では分割の仕方が異なることになる．この分割の違いを二重基準 (Double Standard) と呼んだとすると，原子論は物質と時空に関する分割の二重基準を採用することによって運動変化を整合的に理解する試みだったということになる．この基本方式は以後の原子論的な科学理論のほとんどすべてにおいて認められる原則的な仮定である．ギリシャの原子論仮説が現在でも私たちを魅了する理由はこの点に尽きる．[37]

物質の有限分割性は有限加法性 (Finite Additivity) のように無限への拡張 (Countable Additivity, Uncountable Additivity) がなされるものではなかったし，現在でも物質は原子論的に，有限の範囲でしか分割できないものと考えられている．誰もそれが無限に拡張できるとは思わないだろう．というのも，それが可能とすれば，物質はサイズのない点にまで到

[37] 古典力学にも原子論の構成が強く影響している．古典力学は物質についての理論ではなく，運動についての理論なので，二重基準の一方の「物質の有限分割可能性」は表面には出ていない．力学では物体の運動の法則と物体が運動する時空の二本立てになっており，時空に関する法則，前提は明示的に表現されていない．それを表現すれば，「時空は非可算個分割可能（連続的分割可能）である」となる．一方，非古典的な量子重力理論では二重基準そのものが正しくない．

達し,「サイズのない物質」という点を時空の点の場合と同じように想定しなければばならないからである.[38]

5.　ここまでの要約

アリストテレスの自然学は変化する物体についてのもので，自然の変化をどのように説明するかが課題であった．彼は変化が四つの原因によって決まる，起こされると考え，それらを使った因果的説明を考察した（自然学 II 3, 形而上学 V 2).

アリストテレスの 4 原因は事物の構成と変化の両方を含んでおり，変化の時間軸に二つの原因（機動因と目的因)，構成の階層軸に二つの原因（形相因と質料因）を置いたもので，それぞれ時間的因果性，存在論的因果性と呼ばれている．その後，いずれの軸も一方向だけ取り上げられ，時間軸からは目的因が，階層軸からは形相因が排除されて行った．それが現在の因果的，還元的説明のもとになっている．階層軸は個別科学の展開に応じてそれぞれの研究領域に分けられ，そこでは機動因だけが原因となる追求がなされることになる.

運動変化の成果の変遷をみれば，ケプラーの太陽系の運動論的な記述，そしてニュートンの力学的記述が得られ，天文学が開花する．1650–1700 年に, 望遠鏡の改良, 恒星の位置の観測の正確化, 重力理論の正確なテスト，1700 年にハーシェルが天王星を偶然に発見，1845 年にはその軌道の摂動，新惑星の位置の予測，等が続く.[39]

---

[38]「サイズのない対象」は力学モデル内で「質点 (point particle)」として意味をもつが,「サイズのない物質」は力学モデル内でも意味をもたない．運動の記述に物体のサイズは不用だが，化学的性質の記述・説明に物質のサイズは不可欠である．これが力学は運動理論だが，物質理論ではないと言われてきたことである.

[39] 三体問題：二体については軌道の方程式は解けたが，三体かそれ以上では解くことができなかった．これが三体問題として天文学者を悩ますことになったが，現代風には決定論的カオスの問題である．力学系は決定論的カオスではランダムで予測できない振舞いをする.

決まる決定論は世界の変化を知るための自然な枠組である．出来事が決まることはそれを決める手段が必要で，それが幾何学，論理，言語であった．決まる原因こそが自然法則や自然の出来事であるが，それは決める手段で巧みに表現され，決まる決定論は決める決定論から理解されることになった．それが数学的に自然を捉えることの帰結である．世界の謎は決まるはずの世界を「決める」ことによって「決まる」世界として解明される，それが決定論の真の主張であり，これまで述べてきたことだった．「決める」決定論として論理的決定論，幾何学的決定論を，「決まる」決定論として Block Universe Model，運動変化に関するゼノンのパラドクス，そして原子論を垣間見てきた．哲学が世界について「決まる，決める」の探求であり，これまでそれが決定論という言葉で矮小化されて扱われてきたことも述べてきた．

決めるから決まる．決まるからさらに決める．このように，「決める」と「決まる」の間には相互貫入とも呼べるような相乗効果が働いている．決める装置，操作によって決まってくる変化が知られ，その決まった知識を使って，さらに決めていく．そのことによってさらに新しい知識が得られていく．このような繰り返しが試行錯誤的に行われ，次第に既知の変化が増え，知識が蓄積され，決定論は次第にその姿を鮮明にすると同時に，その適用範囲が拡大していく．

「決める」と「決まる」の相互貫入は単なる因果的関係ではない．言葉で表現される知識を使って物理的なものを操作し，それによって決まることを再度言葉で記録するような過程が介在することによって，「決まる」と「決める」が浸透し合うような相互貫入が成り立つ．さらに，認識レベルで決めることは命題の真偽を介して行われるが，記号系列としての命題が自らの記号としての存在と記号系列としての命題が指示する内容との両方と結びつき，因果的でない指示関係が存在することによって，「指示する」，「指示される」という形式を通じて相互貫入が認識論化される．

経験は知識を背景になされるが，その内容は決まった事柄と不明の疑問からなっている．大半の日常経験では疑問などもたれることなく，何を表象しているかがはっきりしており，それが決まったこととして自動的に知られている．知ることが習慣化され，習慣の中では疑問は出ても無視される場合がほとんどであり，疑問の場合は何が疑問かを決まったこととして知ることになる．疑問の追求は別の事柄として扱われ，習慣的な日常生活では相互貫入は起こらない．何かを知覚するとは知覚する内容を決めることである．これは知覚が所与ではなく，知識の関与を含むものであることを示している．その関与が習慣的になっていれば，見ただけでそれが何かがわかり，知ることができる．習慣化された知覚がはっきりした知覚内容をもたらしている．だが，その関与がない，初体験の知覚であれば，それは全くわからないものとして決まり（＝知られ），それが何かを決める（＝知る）試みがスタートすることになる．むろん，それを無視することもできる．

決定論は哲学的な思想，理論であると歪曲され，非決定論も同じように，哲学的な思想，理論であると考えられてきた．決定論が問題になるのは「自由と決定」が両立するか否かという局面というのが一般的な理解だろう．決定する，確定する，古典的な決定論的世界観，非決定論的で不確定な理論，これら謂い回しが示唆するのは，決定論とは存在と認識の架け橋になるような哲学的探求の代名詞であり，哲学的な理論の前提になるような知識を含み，哲学的考察を支える原理となっている，ということである．問題を決定論的に捉え，決定論的に答えることが合理的な哲学的探求であったが，決まらない事柄が決められないのか，決まらないのか，つまり，わからないのか，不定なのかはどのような非決定論の議論にも登場する，根本的な問題となってきた．その解答としての確率・統計的な知識は決まらない事柄に対する 20 世紀以降の常識的な対応となっている．

REFERENCES

Albert, D. (2000), *Time and Chance*, Cambridge/MA and London, Harvard University Press.

Alper, J. S., M. Bridger, J. Earman and J. D. Norton (2000), What is a Newtonian System? The Failure of Energy Conservation and Determinism in Supertasks, *Synthese*, **124**, 281–293.

Burnet, J. (1892), Early Greek Philosophy, London and Edinburgh: A. and C. Black.

Chalmers, A. F. (1998), Retracting the Ancient Steps to Atomic Theory, *Science & Education* **7**, 69–84.

Chalmers, A. F. (2009), The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone: *How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*, Boston Studies in the Philosophy of Science, 279, Springer, Dordrecht.

Chalmers, A. F. (2010), Boyle and the Origins of modern Chemistry: Newman Tried in the Fire, *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, **41**(1), 1–10.

Chalmers, A. F. (2011), Drawing Philosophical Lessons from Perrin's Experiments on Brownian Motion: A Response to van Fraassen, *British Journal for the Philosophy of Science*, **62**, 711–732.

Conway, J. and S. Kochen (2006), The Free Will Theorem, Found. Phys., **36**, 1441–1473.

Conway, J. and S. Kochen(2009), The Strong Free Will Theorem, *Notices of the AMS*, **56**, 226–232.

Earman, J. (1986), *A Primer on Determinism*, Dordrecht, Reidel.

Earman, J. (2008), Reassessing the Prospects for a Growing Block Universe Model of the Universe, *International Studies in the Philosophy of Science*, **22**, 135–164.

Ellis, G. F. R. (2005), Physics and the Real World, *Physics Today*, 49–53.

Ellis, G. F. R. (2006), Physics in the Real Universe: Time and Spacetime, *Gen. Rel. Grav*. **38**, 1798–1824. [arXiv: gr˜qc/0605049]

Ellis, G. F. R. and T. Rothman (2010), Time and Spacetime: The Crystallizing Block Universe, *International Journal of Theoretical Physics*, **49**, 988–

1003.

Friederich, S. (2011), How to spell out the epistemic conception of quantum states, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **42**, 149–157.

Guthrie, W. K. C. (1962), *A History of Greek Philosophy*, vol. 1, Cambridge, Cambridge University Press.

Guthrie, W. K. C. (1965), *A History of Greek Philosophy,* vol. 2, Cambridge, Cambridge University Press.

Hajek, A. (2003), Interpretations of probability, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, http://plato.stanford.edu

Hajek, A. and C. Hoefer (2006), Chance, in the *Encyclopedia of Philosophy*, 2nd edition, Borchert, D. (ed.) Detroit: Macmillan Reference.

Hartle, J. B. (2005), The Physics of 'Now', *American Journal of Physics*, **73**, 101–109, [arXiv: gr-qc/0403001]

Hoefer, C. (2002), Freedom from the Inside Out, in *Time, Reality and Experience*, in C. Callender (ed.), Cambridge, Cambridge University Press, 201–222.

Hoefer, C. (2002), For Fundamentalism, *Philosophy of Science,* **70**, (PSA 2002 Proceedings), 1401–1412.

Hoefer, C. (2010), Causal Determinism, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, http://plato.stanford.edu

Hofweber, T. (2009), The Meta-Problem of Change, *Noûs*, **43**, 2, 286–314.

Jackson, F. (1986), What Mary Didn't Know.*Journal of Philosophy* **83**, 291–295.

Laraudogoitia, J. P. (1996), A Beautiful Supertask–Example of Indeterminism in Classical Mechanics, *Mind*, **105**, 81–84.

Lewis, D. (1980), A Subjectivist's Guide to Objective Chance, in Richard C. Jeffrey (ed.), *Studies in Inductive Logic and Probability*, vol. 2, Berkley: University of California Press reprinted in Lewis 1986, 83–132.

Lewis, D. (1986), *On the plurality of Worlds*, Oxford, Basil Blackwell.

Łukasiewicz, J. (1922), On determinism, in *Selected Works*, North-Holland P. C., Amsterdam (1970), 110–128

Mar, G. and P. St. Denis (1999), What the Liar Taught Achilles, *Journal of Philosophical Logic,* **28**, 29–46.

McCall, S. (1966), Excluded Middle, Bivalence and Fatalism, *Inquiry*, **9**, 1–4, 384–386

Miller, D.J. (2009), Pre- and Post-Selected Ensembles and Time-Symmetry in Quantum Mechanics, *International Journal of Theoretical Physics*, **48**, 1030–1043.

Norton, J. (2003), Causation as Folk Science, *Philosophers' Imprint* 3 (4), http://www.philosophersimprint.org/003004/.

Norton, J. (2008), The Dome: An Unexpectedly Simple Failure of Determinism, *Philosophy of Science*, **75**, 786–798.

Peacock, K.A. (2005), Aristotle's Sea Battle and the Kochen-Specker Theorem, http://people.uleth.ca/~kent.peacock/Openness_of_Future_Web.pdf

Petkov, V. (2005), *Relativity and the Nature of Spacetime*, Berlin, Springer.

Petkov, V. (2006), Is There an Alternative to the Block Universe View? in D. Dieks (ed.), *The Ontology of Spacetime*, Amsterdam, Elsevier, 207–228.

Pierre-Simon de Laplace (1816), *Essai philosophique sur les probabilités*, 3rd edition. Paris: Courcier Imprimeur.

Pierre-Simon de Laplace (1995), *Philosophical essay on probabilities*. New York: Springer-Verlag. (Translated by A.I. Dale from the fifth French edition, 1825.)

Prior, A. N. (1968), Changes in Events and Changes in Things, In *Papers on Time and Tense*, 7–19, London, Oxford University Press.

Putnam, H. (1967), Time and Physical Geometry, *Journal of Philosophy*, **64**, 240–247.

Rietdijk, C. W. (1966), A Rigorous Proof of Determinism Derived from the Special Theory of Relativity, *Philosophy of Science*, **33**, 341–344.

Sider, T. (1997), Four Dimensionalism, *Philosophical Review*, **106**, 197–231.

Silagadze, Z. K. (2005), Zeno Meets Modern Science, *ACTA PHYSICA POLONICA B*, **36**, 2887–2929.

Spekkens, R. W. (2007), Evidence for the Epistemic View of Quantum States: A Toy Theory, *Physical Review A*, **75**, 032–110.

Stein, H. (1968), On Eintein-Minkowski Space-time, *Journal of Philosophy*, **65**, 5–23.

Stillwell, J. (2005), *The Four Pillars of Geometry,* Berlin, Springer.

Tsianikas and G. Couvalis (eds.), *Greek Research in Australia: Proceedings of the Sixth Biennial International Conference of Greek Studies*, Flinders Univ. June 2005, Modern Greek: Adelaide, 81–88.

van Fraassen, B. C. (2009), The Perils of Perrin, in the Hands of Philosophers, *Philosophical Studies*, **143**, 5–24.

Wharton, K. B. (2007), Time-Symmetric Quantum Mechanics, *Foundation of Physics*, **37**, 159–168.

Wharton, K. B. (2010), Time-Symmetric Boundary Conditions and Quantum Foundations, *Symmetry*, **2**, 272–283.

Wharton, K.B. (2008), Lessons from the Block Universe, The Nature of Time Essay Contest, http://www.fqxi.org/data/essay-contest-files/Wharton_Wharton_Essay.pdf

Whitehead, A. N. (1979), *Process and Reality*, New York, Free Press.

Williamson, T. (1994), *Vagueness*, London, Routledge.

Wilson, M. (2009), Determinism and the Mystery of the Missing Physics, *British Journal for the Philosophy of Science*, **60**, 173–193.

アリストテレス，『命題論』（山本光雄訳，岩波全集，1971）