

物理学の考え方と生物学的観点の共存と対立

— 水野氏の講義にインスパイア—

YPRL 山田弘明¹

(2011年3月9日受理)

水野道夫氏の講義に参加した感想を含めて、「哲学-生物学-物理学」に多少なりとも絡んで共通する世界観を、自分の「浅学」「誤読」を顧みず考察する。

1 はじめに

哲学者や宗教学者の論の中には、生物学的事実を論拠にせず生物学的結果に呼応する結論にたどり着くものがある。これは、彼らが考察の対象を人間として、その生死にかかわる現象や生命の意味を深く考えているからであろう²。水野氏の講義「世界の変容:メカニクからオートノミーへ—ヘーゲルの「論理学」に沿って—」[1]でも、本来哲学が対象とする精神、観念、思想や文化の問題のみではなく、村瀬氏の生命論[4]からの実例との対応を多く引用し立体的なものに組立てられていた[1, 5]。基本的に、水野氏の哲学においても、村瀬氏の生命論においても共通したものごとの見方に、西洋的視点と東洋的視点を統合して実態の理解に奥行きを持たせていくということがあるだろう。日頃、哲学者の話を書く機会が無い私にとって刺激の内容であり、現代の物理学や生物学の在り様や研究者自体の在り様と比較して、考えさせられる点も多かった。

今回の内容は、複雑系物理学や非線形物理学に関連した世界観と共鳴し易いかもしれないが、ここでは、水野氏や村瀬氏の論への感想と物理と絡めた私なりの見方を記す³。「哲学・思想の問題」「生死の問題」などは、個人的感覚を通して初めて自己の内面に織り込

¹E-mail: hyamada[at]uranus.dti.ne.jp

²もちろん、元々科学と宗教も必ずしも矛盾するものではない。英国国教会でも、キリスト教などの宗教と進化論などの科学を両立しえないものとしてでなく、統合しようとする方向性を以前から有している[2]。物理学でも、「東洋哲学思想と素粒子論」「西田幾多郎の絶対無と時間・空間概念」の関係は以前から指摘されている[3]。学は一つなりを軸とし、物理学、哲学、生物学へと思索を展開していった渡辺慧の先験的思想にも学ぶことが多い[8]。

³例えば、井上政義氏により、哲学とカオスや複雑系科学の世界観との関係について興味深い考察が与えられている[9]。

まれていくものであるから、人其々の表現で「分かった」と思えることが重要であろう [6]⁴。従って、私の誤解や感違いも多いであろうし、各分野の専門的表現を用いてない難点などもあると思うが、ご了承願いたい⁵。具体的には、「空間・時間的な概念と異差の拡大」の問題に関し、「非線形性」「有限性」「記憶効果」「不可逆性」などの視点からコメントする。さらに、「二極不可分離」の問題を「自己と環境」、「対象系と熱浴系」、「自と他の分離」「主と客の分離」、などとの関連から考える。

2 時間概念と因果律

水野氏は歴史における「時間」のとらえ方として、「直線型時間」と「円環型時間」を挙げている。この「時間」は自然科学での「時間」というより「変化」の認識に関するもの、いわば生活や人間に張りついた時間のことである⁶。しかし、物理学においても絶対時間を定義しその進む方向を定めるものの、時間と日常の出来事までを結びつけて一貫した証明を与えることはできない。時間反転に対して可逆な物理法則から、いかにして日常の不可逆現象を導きだすのかは、古くて新しい課題である。いわゆる「時間の矢の問題」「不可逆性の起源の問題」である [11]。

一般に、「直線型時間」というものは、「過去→現在→未来」という一直線上の因果律に従ったものであり、宗教的には神から全てが始まったという世界観といえるものである⁷。時間軸上における因果律に従う事象を考えれば、時間反転可能であり、可逆変化に対応、完全な記憶効果をもち前進する、いわば可積分系の世界観といえる。

一方、「時間の矢」に関する表現をすれば、不確定要因（ノイズなど）により、その記憶が減衰する場合があります、減衰の仕方も2種類ある。指数関数的な減衰のように特徴的時間スケールの存在するものと、ベキ関数的な減衰のように特徴的時間スケールが存在しないタイプだ。特に、ベキ関数的減衰をするものは、非常に多くの時間スケールの混在から

⁴また、ここでは、時間空間の構造として、人間スケールのみを考えるが、脳問題やこころの問題、意識の問題としては扱わない [8]。もちろん、「体内時計」に関する時間というわけではない。

⁵良く言われることは、「哲学の問題は訊かれる前は知っているが、訊かれるとうまく答えられない」というものが多い。

⁶生物現象に限っても「時間」は多元性をもち様々な解釈がある。発生的時間、進化論的時間、行動生物学的時間、などがありそれらが複雑に絡み合っているものとして生命を（因果的とは逆の）「目的論的」に解釈するという挑戦的見方も存在する [7]。この時間の多様性は、遺伝子の多様性、種の多様性、生態系の多様性という生物多様性の3つの概念に対応している。

⁷時間の感じ方も2通りあると聞く。一つはサーフィンでもするかのように、自分が波の先端にの乗り前進しているという感じ方であり、若い時ほどそう感じるもの。もう一方は、綱を手繰り寄せていくように前に進んでいるという時間の感じ方である。これは自分は後ろから先祖に追いついていこうとしている、と感じるもの。自分の感覚からすると、40歳あたりを境にして、前者から後者へと徐々に変化していく様にも感じる。

形成され得るもので、 $1/f$ ゆらぎとして観測される。この記憶の減衰効果は、確率的なノイズが無くても非線形性が組み込まれていれば、時間発展とともに自然に生じ得る [10]。このような複雑系的世界観は、「多対多因果律」または、「一对多因果律」として時間概念にも影響する [12]。実際、「一对一因果律」でない冗長性は、一見無駄が多い様にみえるが、様々な現象に現れる。生物系の例でみれば、三つ組の塩基でコードされる遺伝暗号と 20 種のアミノ酸の対応も「多対 1 対応」で冗長性がある。冗長性と新規性をあわせもったものごとは、進化を表現するものとして自然（現象）の中に用いられている。また、「多対多因果律」などはいわゆる「卵と鶏論争」を超えて因果性をとらえる、構造的因果性や弁証法的発展などの包括的時間概念の形成に通じるものであろう [13]。

もちろん、空間、時間の「有限性」は世界観に直に関係するであろう。死や生の関連から「時間の有限性」が思想に影響することは容易に想像できる。「空間の有限性」がなければ、時間が「直線型」であろうが、「円環型」であろうが、比較的単純な因果律しか生まれなかったり、空間も時間も無限であれば「直線型時間」概念が生じやすくなるであろう。水野氏のいう対概念のバランスが崩れた「ズレ（異差）」（需給のズレなど）の広がり、それが「ブーメラン効果」により自己に戻ってくるという場合も、「ブーメラン効果」としての循環の起る時間スケールに大きく影響する。

3 ズレと非線形制御

異差の広がり方のダイナミクスにおいて、線形ダイナミクスに従うことが基本になるか、それとも非線形ダイナミクスによるのか、この違いも思想形成や社会システム形成に重要な観点をもたらす。特に物事や現象を制御しようとする場合に、それらのイメージの違いが顕在化すると思う。一般に、工学や技術は物事や現象を制御することを目的とし、制御できる部分しか扱わない [14]。例として、システム制御（制御工学）や DNA 工学や進化工学、金融工学というものもこれに属する [15]。これらは、対象となる系をいくつかの変数で記述しその振る舞いを制御するように、パラメーターを設計して系の状態を安定に保とうというものである。特に、線形制御に関わっていると「あらゆるものがうまくやれば制御できるものだ」というドグマ」に入り込む可能性がある。つまり、制御できないのは技術の問題であり、技術発展がより進めば必ず制御できるようになると思い込む。生物のもつ制御機能の一部を取り込んで、確率制御、カオス制御、ファジイ制御またニューラルネット制御も大いに研究され利用されているが、これらの利用もごく一部の限られた場合にのみ有効であり、線形制御とそれほど変わりはない。

非線形性に基づく本質的現象は、工学や技術とは対極に位置する、自然現象、社会現象の中に顕著に現れる。もちろん、生物集団からなる社会もそれに含まれる。法律も社会を制御するための手段だと思えば、政治や行政も非線形制御問題に属する。線形制御と違い、非線形は制御できないことがその本質に内在するものである。線形概念の適用限界を知るべきであろう。制御可能な領域はほんの僅かでしかないという認識が必要だ。適応限界を見誤れば、その問題は、金融危機や生物の生活環境汚染などと同じ経緯をたどることになるであろう。

この制御を考える場合の重要な概念として、非常に稀にしか生じないが重要な現象を、どのようにとらえ、どう組み込んでいくのかも重要な視点になる。想定外のものごとの中には、確率的には小さくても必ず起こり、またそれが重要な役割を演じるものがある。実際、ダーウィンの進化論による突然変異や自然淘汰のみで現在の生命の多様性を説明することはできない。たった1回生起したカンブリア大爆発のような事象が生命の多様性をもたらすという見方も、進化の過程で偶然と必然のハザマに出現したものの例といえる⁸。(確率論で言えば、小偏差でなく大偏差原理による現象が生じて初めて認識にいたるのかもしれない[16].)

4 自他分離不能性

水野氏の「二極不可分離」について考える。生命にとってよく知られている重要な概念に「自己・非自己の分離性問題」がある。自己と他者を分離するため、一時的に「境界」を設定し見分けるわけだが、厳密に分離することは不可能である。例えば、免疫系では、内と外、敵と味方の分離問題が典型例であり、DNAによる遺伝情報に関するイントロンとエクソンの関係⁹や生態系では生物個体やその生息環境、などを考えてもわかるように「自と他」や「内と外」を明確に分離することは不可能である¹⁰。しかし実際にはこの分離不可能な物事に対し、第一近似として、無理やり分離して理論的取り扱いをする

⁸「コシヒカリの発明」も「地震」や「災害」も大偏差 (large deviation) の範疇で、偶然と必然のハザマに生まれたものと理解することもできる。経済学や金融工学は、1/100の確率で生じる事象を無視して論を進める。そんなことをしているから、当然のものとして生ずるバブルの崩壊や金融危機程度のこと予言できなかったのであろう。

⁹転写されるエクソンと意味を持たない(といわれる)イントロンが混合している部分の配列のゆらぎとして「1/f-ゆらぎ」が観測されている。この場合もイントロン部分は単にエクソンと相互作用する環境とみなし、分離して扱うことが多い。

¹⁰生と死のように相対するものが一体であるという話は身近なあらゆる場面で出現する。例えば、日本の特異なマンガやアニメで言えば、「ドラゴンボール」の「神とピッコロ」、「千と千尋の神隠し」の「湯婆婆と銭婆」、水木しげるの「猫楠」の粘菌のように「現世と来世を行来する熊楠」[17]など枚挙に事欠かない。何を見てもそう思えるくらい、「表裏一体論」は普遍的な概念と言えるのであろう。もちろん、一元論という意味ではない。

場合がある。この場合、近似によるズレは指数関数的に増大していき、その近似がある有限な短時間で成立しなくなり、そのズレは有限空間全体に広がり混合されていく。これは社会的に様々な階層的問題を生じることであろう¹¹。(これを次節で議論する。)

分離不可能なものごとを人為的に分離している事例は多い。例えば、自然現象の一部である自然災害なども、元々境界を持たないものだが、このような本来分離不可能なものに対し、関連する現象を便宜的に区分けした取扱いをする¹²。心理学では両面性 (ambivalence) であったり、俗な表現では「表裏一体」ともいえる。他にも、「安定性と可塑性」、「利己と利他」、「自由と平等」、「科学と技術」、「都市と農村」など一見対立する概念が二極対立ではなく本来は境界が明確ではなく二極不可分離である [20][21]。村瀬氏の見方に沿うと、健康と病気も一体のものになる。例えば、進化の過程で文字が生まれれば、それに関わる病もうまれる。逆に、病の存在自体、生死の両面性を示していることは、PWS 症候群やサバン症候群の人の高度な能力 (パズルが 3 倍早い、形状認識能力、記憶力) をみてもわかる。本来、相反する分離不可能なものごとがいつでも存在していて、その反する一方のものを取り除くということは、どちらも相克する以外は不可能なことなのである。

経済の現象でいえば、貨幣の創発や信用 (クレジット) の創発があれば、信用のインフレーションや収縮もある [22]。生まれたものは、収縮により本来の概念 (創発時点のもの) に立ち返らずをえない。人間の意識から技術 (物質) も生まれたので、技術進歩の行先も、最後は創発時の精神に帰らざるをえないのである。西田幾多郎の「絶対矛盾自己同一」や鈴木大拙の「無分別の論理」と通底するのかもしれない。

物理の量子論における基本問題で「観測問題」がある。これも自己・非自己の視点にそのままあてはめることができる [23]。「観測対象の系」と「観測装置」(観測者) は自己・非自己や内側・外側または自己・環境などに対応するわけだが、その境界は明確ではない。また、最近の量子計算などで言われる entanglement など本質的に分離不可能な状況が出てくることを示している。物理が科学「哲学」と密接に結びついていたころの問題が科学「技術」と密接になってきた現在に大いに関わっており、その意味で、循環していると

¹¹ 「自己と他者との相互作用」、「観測系と非観測系との相互作用」という見方では、「内部観測」や「内在物理学」が関連するが、ここでは議論しない [18][19]。

¹² 例えば、地震に関連していえば、建物の振動解析は「建築学」や「土工学」で、地殻の振動つまり地震は「地震学」で、別々に扱う。本来は分離するものではなく、人間との関わりでいえば、生理学や医療、そして哲学まで含めてとらえる視点が重要であろう。たしかカントもリスボン大地震に衝撃を受けて地震に関する論文を書いている。また、1828 年越後三条大地震に際して、越後の乞食坊主、大愚良寛曰く「災難に逢ふ時節には災難に逢ふが良く候 死ぬる時節には死ぬが良く候 是はこれ災難を逃るる妙法にて候」まさに、地震は人生観、世界観まで揺すぶられることとなる、それは人類が地上に生まれたことの必然ともいえる。

いえるのではないか。

両面性や表裏一体性は物事の見方、記述の仕方における「ミクロとマクロの対立」についても当てはまる [24]。例えば、ミクロとマクロの重ね合わせで物事を見るべきであると提唱した大森荘蔵も、二律背反や二元論を超えた構造主義的見方を提示している。物事の本質はどちらかでなくて、重ね合わせて本質が初めて見えるということである [25]。生命や進化を 2 節で述べた因果律から解釈することに加え、逆方向の目的論的解釈との「重ね合わせ」により止揚していくこともあり得るのではないか。

5 階層性と創発性

「自己と他者」の矛盾や「生物と環境」の間にある闘争と調和という矛盾などは、内と外が分離不能なものを無理やり切って近似した場合のズレは最終的に「階層構造」として系の内部に蓄えられる。

これは、特に、非線形性によるカオスの存在が「分離不可能性」を顕著にした結果であるため、非線形ダイナミックスの結果としてもいいであろう。「ズレ = 不一致 = 不整合」 + 「非線形性」から階層性（フラクタル）が生まれる、と見ることができる。もともと、「自分 + 環境 + 相互作用」「体系 + 環境 + 相互作用」「自己 + 非自己 + 相互作用」などの見方自体、必然的に入れ子構造（階層性）が入っている¹³。（自己言及的であるといえる。）つまり、完全分離不可能性があたり有限性のために、環境が環境であるためには、いつでも外に別の環境を必要とする。つまり、環境の階層性である [26]。

階層性といえば、物理学では「固体、分子、原子、、、」とミクロに向かう階層性や「、、、惑星、銀河、銀河団、宇宙」というマクロに向かう階層性、また 生物では「生態系、個体、細胞、アミノ酸、DNA、、、」という階層性などがある。一般に各階層で現象を記述する物理法則があり、ひとつ上またはひとつ下の階層から、創発としてひとつ上または下の階層の現象を説明するため、モデルをつくり研究していくことが理解の 1 つの方向である。人間社会から生まれた「貨幣」や細胞からなる「器官」などもその例になる。物理の言葉で簡単に表せば、「エネルギーは小さく」「エントロピーは大きく」という条件を折り合わせるように、対称性の破れにより相転移（臨界現象）が起り、新たな階層が創発される [27]。この異なる階層間で整合性がみだされなければならず、相転移点近傍では空間的・時間的大きなゆらぎをとともなうことが特徴である¹⁴。さらに、いわゆるポテンシャル

¹³ こういったものが摂動論を超えて厳密に解けるのは、平均場近似が成立するなど特別な場合のみである。

¹⁴ 物理学の多くの場合、理論家は全体（対象）からモデルを抜き出して解析や議論をし、それを再度対

の乱れの大きさによる Anderson 転移や非線形パラメータの閾値による FPU 転移やカオス転移なども、様々な形態で階層性を具現化することも知られている。また、階層性を内部に蓄える実際物理の現象としては、準周期系や準結晶¹⁵、ランダム系の固有値スペクトルや波動関数、その外界への応答がある。これらの階層性に基づいて前節で言及した「 $1/f$ ゆらぎ」も観測される。

上記の磁性体や誘電体の相転移におけるヒステリシス特性に現れる不可逆性は、生態系において取り返しがつかない深刻な環境問題に直接つながる。例えば、リン負荷量が増し富栄養化が進み臨界値を超えて環境が汚染された場合、回復過程で環境を取り戻すには、臨界点よりはるかに小さな値まで戻さないと回復不可能である。これは不可逆性の問題であり、進化論や生命論に関する生成崩壊過程では「生成過程」と「崩壊過程」の非対称性の問題ともなる。生命科学では、ヒトの細胞分化の謎をカオスの縁で生まれる多様性によりモデル化したカウフマンモデル [28] や iPS 細胞などの細胞分化の階層性を landscape のゆらぎで説明する金子モデルも存在する [29]。

当然、心理学や哲学のレベルにおける矛盾や葛藤、抑圧なども階層構造をもって蓄えられるであろう。もちろんそれらはダイナミカルに変動するはずである [30]。水野氏の講義における「質と量」や「他と自」の横軸と縦軸で張られる空間に生まれる「空」の入れ子構造（階層構造）やその止揚のダイナミックスでも、「何が質で何が量か」「何が自で何が他か」ということ自体変動し、軸（止揚をなす軸）へ進み、入れ替わることもあるであろう。すなわち、視座の転換がいつでも起り得るといことであり、そこに歴史研究の意味があるのである。

何かの創発は、相矛盾する一方も同時に生み出さざるを得ない。生と死のように。また、全ての文明で、発展要因が崩壊要因につながったように。人間の歴史はその統合を行っている（その過程の途中）であるとも思えるし、生物現象はその統合を自然に行っているともいえる。

6 最後に

水野さんの講義を聞いてインスパイアされたことなどを、私なりに整理しようと試みたが、より散らかしてしまった感が否めない。以前から、哲学が生命観や世界観に関与

象に埋め込み検証する、この操作を何度も繰り返す（循環）本質に迫るものである。一般に、理論的に扱える多くの場合では、ひとつ異なる階層のみ可能で、同時に多階層にわたり整合性のある取り扱いが困難である。カオス系の相空間や連分数展開などの数論的構造では多くの階層を議論できるが。

¹⁵例えば、格子の周期とポテンシャルの周期の比が無理数である体系。

するというイメージはあったが、そのみならず、実践的でもあり応用的でもあることを実感した。最近日本ではやりの「サンデル教授」の話も哲学が身近な政治、経済、教育などの問題に自然な展開されるため人気があるのであろう [31]。効率主義を中心に展開されがちな現代社会の中で、高齢化、就業問題など社会不安が増し、自らのレゾンデートル（存在理由）を思想や哲学に求めていることの表れかもしれない [32]。

当たり前のことを疑うこと、疑えるものは全て疑うことが哲学の精神にある¹⁶。例えば、科学哲学では「時間」「空間」の存在や意味を疑うことがその根底にある。その意味において、物理学の精神に通底する問題意識がある [34]¹⁷。応用・実用に走りがちな現代においてますます物理学、物理学者にも「哲学」が必要になるであろう。

江戸時代に盛んであり、微分積分まで独自に近づいていた和算が、明治になりあつというまに滅び、西洋数学にとって代わられた。和算が滅びた原因は、政策的なこと以外に、そもそも哲学や思想と無縁であったことが挙げられる [35]。和算は「術」であったことが、西洋の数学と異なる。これは、鎖国をしていた江戸時代に禁書とされた西洋学問の書でも三角法や測量術などの「即効的」な「術」に関する書は抵抗なくすんなり国内に入ったということからも、「術」は広がりやすいことがわかる [37]。すなわち、応用は受け入れられやすい一方、思想や哲学のないものは、そのほんのひとつの価値観でしかない「効率」だけの理由で、簡単に置きかえられたのである¹⁸。物理学の研究においても、哲学や思想がないと、保身のためその本来の目的を見失いかねない状況には、和算の例が参考になるであろう。政治的、経済的理由でそう簡単にその学問の方向が影響を受けるようでは、滅びてしまうということであろう。一方、研究者が、「研究は研究」「生活は生活」と分離するのではなく、科学研究の中で得た「世界観」を人生の自らの思想形成にどのように生かしていけるのか、重要な課題ではなからうか¹⁹。

最後に、水野氏の講義で言えば、「空白を埋めるおおきな揺り返し」が起こることになるが、これはなんであろうか。おそらく、人工的につくられた境界にかかわらないものであるから、大きな自然災害か、現在進行しつつある環境問題ということかもしれない。

¹⁶ 大学に職を得るようになった「職業哲学者」や「講壇哲学者」では論争が技巧的ではあるが、迫力もなく現実感が乏しいという [33]。

¹⁷ 科学基礎論は哲学、物理学、生物学、数学、心理学などが共通した根源的議論の場でもある。湯川秀樹は「科学基礎論研究」の創刊にも貢献している。

¹⁸ 盛んに行われた寺や神社への算額奉納もクイズ王を決めるような発展の仕方では脆いということであろう。サイエンスショーのような人気集めも同様であろう。算額奉納は、現代の対応で言えば数学セミナーなどにおける「エレガントな解答求む」などの様なものとして生き残っているといえるかもしれない。数多くの和算家を出した越後では、賊軍になったこともあり、明治になっても和算が盛んだったようである。 [36]

¹⁹ 水野氏は「哲学は学問の農業である」といつていた。私は「物理学は学問の農業である」と思っていたが、今はサービス業になりつつあるのかもしれない。ハイデガー曰く「農村で暮らすひとは、自らの人間性を本能で理解している。彼らは全てを内包し世界と繋がっている。」 [38]

実際そのような問題に対して、技術的なこともさることながら哲学が救いの契機になる、ということも大いに想像できる。

謝辞

水野氏には講義後のメールによる(野蛮な)質問に対しても、丁寧に応答していただきました。議論していただいた水野道夫氏、村瀬雅俊氏はじめ、佐々田友平氏および立命館大学池田研究室の方々に感謝します。関連文献を送って頂いた法橋登氏に感謝します。

参考文献

- [1] 水野氏の講義ノートは以下のサイトから入手可能
<http://www.ike-dyn.ritsumei.ac.jp/seminar.html>
- [2] C.M. Simon, 「進化の運命-孤独な宇宙の必然としての人間」(講談社 2010).
- [3] 法橋登「科学の極相 思考の対位法」(哲学書房 1990); 「武谷三段論法とニュー西田哲学」日本物理学会誌 59, 555-556(2004).
- [4] 村瀬雅俊「歴史としての生命 自己・非自己循環理論の構築」(京都大学学術出版会 2000); 「進化ダイナミクスにおける自己・非自己循環原理の探求」物性研究 95-3, 270-300(2010).
- [5] 水野道夫「戦争をめぐる時空間構造について」社会科学ジャーナル 64 COE 特別号、143-166 (2008).
- [6] A. クラルスフェルド, F. ルヴァ, 「死と老化の生物学」(新思索社 2003).
- [7] 米本 昌平「時間と生命」(書籍工房早山 2010).
- [8] 渡辺慧「時間の歴史 物理学を貫くもの」(東京図書 1987); 「生命と自由」(岩波新書 1980).
- [9] 井上 政義, 秦 浩起 「カオス科学の基礎と展開」(共立出版 1999).
- [10] I. プリゴジン「存在から発展へ 物理科学における時間と多様性」(みすず書房 1984).
- [11] 田崎秀一「カオスから見た時間の矢」(講談社 2000).

- [12] 相沢洋二「多対多の因果律」数理科学,368, 5-8(1994).
- [13] 石村多門「構造的因果律と諸科学」日本物理学会誌 54, 634-644(1998).
- [14] 前田 肇「線形システム」朝倉書店 (2001).
- [15] 「特集：システムとしての生命に学ぶ」 日本機械学会誌 2006年4月号 (2006).
- [16] 「非線形という科学の見方」科学 2008年11月号、岩波書店 (2008).
- [17] 水木しげる「猫楠-南方熊楠の生涯」(角川書店 1996).
- [18] 松野 孝一郎「内部観測とは何か」(青土社 2000).
- [19] 金子 邦彦, 高木 由臣, 郡司 ペギオ 幸夫「生命システム」 (青土社 1997).
- [20] 「利他の心と脳・社会・進化」科学 2011年1月号、岩波書店 (2011).
- [21] 槌田 敦「弱者のための「エントロピー経済学」入門」(ほたる出版 2007).
- [22] 富森 虔児「生命の経済学 生物学による経済学再構築」春風社 (2008).
- [23] B. デスパーニア「量子力学における観測の理論」(岩波書店 1980).
- [24] 小嶋泉「代数的量子論とミクロ・マクロの双対性」数理科学 523, 18-23(2007).
- [25] 大森荘蔵「知の構築とその呪縛」(筑摩書房 1994).
- [26] 勝木 渥「物理学に基づく環境の基礎理論 冷却・循環・エントロピー」(海鳴社 1999).
- [27] P.W. Anderson, 「科学における創発性, 還元主義, シームレスウェブ」 日本物理学会誌 59, 619-625(2000).
- [28] S. カウフマン「自己組織化と進化の論理 宇宙を貫く複雑系の法則」(日本経済新聞社 1999).
- [29] 金子 邦彦, 「システムバイオロジー」(現代生物科学入門 第8巻) (岩波書店 2010).
- [30] N.O. ブラウン「エロスとタナトス」竹内書店 (1970); フロイト「人はなぜ戦争をするのか エロスとタナトス」(光文社 2008).
- [31] Michael J. Sandel, Justice: A Reader (Oxford Univ Pr 2007).

- [32] 島園 進, 竹内 整一 (編集) 「死生学 1 死生学とは何か」(東京大学出版会 2008). 「死生学 2」 - 「死生学 5」まで出版されている。
- [33] 加藤尚武 「見えてきた近未来/哲学」(ナカニシヤ出版 2002).
- [34] 高橋昌一郎 「理性の限界 不可能性・不確定性・不完全性」(講談社 2008); 「知性の限界 不可測性・不確実性・不可知性」(講談社 2010).
- [35] 小倉 金之助 「日本の数学」(岩波新書 改版 1989).
- [36] 佐藤 健一 「続・和算を教え歩いた男 日本人と数」(東洋書店 2003).
- [37] 高田誠二 「漢学・蘭学・洋学と物理学」日本物理学会誌 48, 48-50(1993).
- [38] M. ハイデガー 「存在と時間」(1927).