

京都大学全学共通少人数セミナー 平成20年度前期

科目名： 創造性とは何か？

担当教員名： 村瀬 雅俊

場所： 基礎物理学研究所

第11回 統合生命科学の創造に向けて（その5）

8. 構成的認識と環境病発症 – 統合過程の成立と破綻 –

8-1. 環境-身体-脳の相互作用系における「内」と「外」の情報統合  
- 学習過程の成立と病気発症に見られる相同原理 -

20世紀の医学・生物学の輝かしい思想の1つとして、H.セリエの‘汎適応症候群’という概念が挙げられる。この概念を提出した背景には、哺乳類がさまざまなストレスにさらされた場合に、特定の防衛反応系として、脳下垂体-副腎系がいつも活性化するという発見があった。そして、この発見は、規則的な体調の変化とさまざまな症状や病気を、個別な事象にとらわれずに統一的に理解するための路を拓いた。

実際に、正常人では、副腎皮質からのステロイドホルモン分泌は、日周リズムに従い、その分泌量が増減する。また、それに伴って、味覚の反応閾値が増減することが知られている。副腎に病的疾患をかかえる患者の場合には、正常人が示すこうした規則的な体調の変化が、どちらか一方にさらに増幅・誇張される。例えば、副腎皮質から過剰のホルモンを分泌する‘クッシング症候群’の患者は、諸感覚の鈍りを訴える。これは諸感覚の閾値が、過剰ホルモン分泌によって増加するためである。

逆に、副腎皮質の機能が衰えている患者の場合は、感覚刺激の検出能力が異常に高く、特に、味覚、嗅覚、聴覚、および体内信号の受容を伴う固有感覚が鋭い。例えば、ニトロベンゼン油溶液の臭覚刺激に対する検出閾値は、正常人の $10^{-3}$ ~ $10^{-6}$ ミリモル/リットルに対して、 $10^{-9}$ ~ $10^{-12}$ ミリモル/リットルと著しく減少している。ここに、‘現代病’として顕在化してきた、‘化学物質過敏症’（W. J. Rea, 1992; 1994; 1996; 1997; 石川哲, 1993, ; 石川哲、宮田幹夫, 1999）や‘電磁波過敏症’（W. J. Rea, 1992; 1994; 1996; 1997; R. O. Becker, 1990）、あるいは遺伝病との関連で知られていた‘太陽光過敏症’（近藤宗平, 1982; 松田外志朗, 2004）や‘痛覚過敏症’とその対極にある‘無痛・無覚症’（富永真琴, 2004）と共通した、いわゆる‘過敏症候群’の古典的モデルがあ

るように、私は思う。

ところで、副腎皮質ホルモン減少患者は、感覚刺激の検出能力の異常な高さとは裏腹に、外来刺激信号を統合する能力は低い。例えば、音の大きさや音調といった情報の変化、あるいは言葉を理解することについては、いくらか困難を伴う。このように、単一の脳下垂体－副腎系の活性化の程度の違いとして、多様な症状を理解する路を拓いた点で、セリエの功績は大きい。

スタンフォード大学医学部精神医学科のレビンによれば、脳下垂体－副腎系を活性化させるストレスには、病気、火傷、骨折、酷熱、外科手術から、恐怖、不安、騒音、過密に至るまで、生物学的・心理学的・物理学的原因を含んでいるという。さらに、学習が必要となる新奇場面への曝露すら、脳下垂体－副腎系を活性化させるストレスとなる。このことから、脳下垂体－副腎系は、感覚系を介した「外部環境」由来の‘ストレス情報’と、体温や血液成分変化といった「内部環境」由来の‘ストレス情報’の統合領域に相当すると考えられている。そして、本稿4節で詳しく述べた、東京医科歯科大学の角田忠信による聴覚・運動フィードバック系の環境センサーとしての働きにまで、この「内部環境」と「外部環境」由来の‘ストレス情報’の統合機能は拡張されている。

しかも、聴覚情報に依存して、この情報統合領域は3つのタイプの構成原理を採用している。第一には、生得的構成原理が挙げられる。これは、日本人、欧米人などの言語環境によらない人類に共通な聴覚情報依存の左右大脳半球優位性スイッチ機構で、一般に言語音は左脳（右耳）、雑音や純音は右脳（左耳）がそれぞれ優位であるという特性は、生得的に遺伝子によって決定づけられている。第二が、後天的構成原理である。これは、一般に自然音が日本人では左脳（右耳）優位であるのに対して、欧米人では右脳（左耳）優位であるといった差異が、6歳から9歳ころの言語環境に依存して後天的に決定される。そして第三には、より柔軟で、ある程度可逆的な構成原理で、40・60系、「内部環境」および「外部環境」に従って、聴覚刺激に対する左右両耳の優位性が決定されている。汐見文隆によれば、左右両耳の優位性が低周波音で、不可逆的に逆転することが、低周波音による‘自律神経失調症’的な‘自覚’症状の認識と関係づけられるのではないかという魅力的な考察を加えている。

こうした三段階の構成原理は、さらに一般化した形として、脳の発生・発達過程へと拡張される。例えば、黒田洋一郎は、人工化学物質の脳への影響として、発達異常と行動障害に特に焦点を当てている。これは、主として第一の生得的構成原理と第二の後天的構成原理への、環境ホルモン作用による遺伝子発現の攪乱に関する影響発現を扱うことに相当する。そして、本稿で私が強調したいことは、‘化学物質過敏症’が、主として第二と第三のタイプの構成原理を通して発症してしまうのではないかという点である。

このストレス情報の統合領域には、全体として環境－脳－身体の相互作用系を構成するという生物学的意味がある。脳科学者であるアントニオ・ダマシオが提唱している、ソマティック・マーカー仮説－すなわち、身体反応を媒介とする認識論－の根拠は、この環境－脳－身体の相互作用系の存在にある。もちろん、環境との相互作用は脳だけのものでも身体だけのものでもない。そして、問題を複雑にしているのは、環境が部分的には、脳と身体からなる生体（ダマシオは有機体と呼んでいる）の活動の産物であるという点なのである。

そのため、こうした環境－脳－身体の相互作用系であるヒトの生体系においては、「外来刺激への反応」から「生体反応への反応」へと、この全体のフィードバック系を構成している複雑な反応ネットワークが短絡化してしまう危険性が常にある。

さまざまな環境刺激を‘再構成’しながら、情報の統合をすすめるという学習に不可欠な構成過程が、ともすれば、「内」と「外」から絶え間なく入ってくる情報の統合障害を招いてしまう。そして、その時の統合障害の程度の差として、さまざまな病態を捉えうるのではないだろうか。つまり、ストレス防衛反応系として、H. セリエが見いだした脳下垂体－副腎系、および彼の‘汎適応症候群’の概念は、先に‘構成的認識論’（村瀬雅俊、2001）で論じた、より広義の統合障害として捉え直すことができるのである。

軽微なストレスは、新奇性への学習を招く。この刺激が、一時的なものならば、その学習効果すみやかに‘消去’される。もちろん、その刺激が反復的に持続されても、新奇性への‘慣れ’が伴えば、学習効果は遅かれ早かれ‘消失’する。ところが、その軽微なストレスが持続するような場合、‘消去’系がうまく機能しなくなれば、刺激への反応にとどまらず、生体が自己自身の反応にも反応していくというドミノ倒しに似た連鎖反応を引き起こしてしまう危険性がある。そして、このような場合、本来の刺激因子が存在しなくなっても、症状は間欠的に持続することになる。また、たとえ一時的なストレスであっても、強烈な刺激に対しては、‘消去’系が正常に機能しない危険性がある。この場合も、本来の刺激因子が存在しなくなっても、その‘影響’は記憶され、症状としては間欠的に持続する。

つまり、一般に、新奇性に富む環境を認識して学習する機構が、ある意味では、環境病発症の機構へと転化しうるのである。

‘化学物質過敏症’は、化学物質の微量慢性的曝露や大量急性的曝露によって発症することが知られている。その発症機構として、低濃度の化学物質に慢性的に曝露され続ける場合、あるいは高濃度の化学物質に一時的に曝露される

ような場合、‘消去系’が正常に機能せず、それ以後に、本来の刺激物質が存在しなくなっても、その影響が症状として残ることが考えられる。

そして、多様な入力刺激が、生体の情報伝達経路の中で同等に扱われるということを考えて、‘化学物質過敏症’の病理学が、他の環境刺激の影響、例えば電磁波によって引き起こされる‘電磁波過敏症’を解明する鍵となりうると考えられる。

## 8-2. 細胞膜における「内」と「外」の情報統合の分子機構 —G-タンパク質、プロテインキナーゼ（PKC）を介した連合学習、過敏性、発がん、ホルモン作用に見られる相同原理—

本節の副題にある、連合学習、過敏性、発がん、ホルモン作用は、一見何の関係も内容に思われる。しかし、私たちは「ゾウを前にした盲人」のごとく、それぞれが「紐のようだ」、「扇子のようだ」、「丸太のようだ」と主張しているようなものなのかもしれない。ストレスタンパク質が産生される条件は、7節で述べたように、環境ストレスをはじめ、悪性腫瘍、さらには‘細胞記憶’（Murase, 1996）が関与する分化や発生といった正常な生理的条件も含まれている。

ストレスタンパク質のいくつかは、‘分子シャペロン’として知られていたタンパク質で、生成されたタンパク質の折りたたみ、輸送などに関与している。また、この種のストレスタンパク質が産生される条件下では、他のタンパク質の産生が抑えられるというフィードバック機構が働いている。

細胞が受け取る「外」からの情報は、分子運動としての温度であったり、神経伝達物質やホルモンのような化学物質であったり、光をはじめとするさまざまな周波数の電磁波など、実に多様である。ところが、細胞「内」で行われる情報の伝達には、カルシウムイオン、細胞膜の代謝、cAMPやcGMPなどのセカンド・メッセンジャー、タンパク質リン酸化酵素やタンパク質脱リン酸化酵素といった共通のイオン、分子、あるいは酵素タンパク質が働いている。

各細胞が、特定の外来刺激に対して受容体を分化させた専門の細胞へと特殊化しているとともに、1つの細胞膜レベルでも複数の受容体が共存し、それぞれの受容体が特殊化している。7-1節で述べたように、複数の細胞「間」レベル、あるいは、それらを組み合わせたより高次の「超」細胞レベルでの情報は、大脳辺縁系レベルで、神経活動を介して情報の統合が図られている。

1つの細胞「内」レベルでは、特殊化した受容体への情報は、G-タンパク質、タンパク質リン酸化酵素やタンパク質脱リン酸化酵素などの共通の情報統合酵素に集約される。そのために、それぞれの情報「間」の‘クロス・トーク’が可能となり、多様な「外」の情報を認識・学習できることになる。しかし、同

じ分子機構が、環境病の発症をも招いてしまう。‘細胞記憶’（Murase、1996）の効果が学習、分化に必要であるが、この機構が、逆に、すでに消失してしまった刺激の残存効果をもたらし、‘両刃の剣’（村瀬雅俊、2000）となってしまうのである。

三重大学医学部の富永真琴が分子レベルおよびノックアウトマウスを用いた研究によって、‘痛覚過敏症’およびその対極にある‘無痛・無覚症’における、G-タンパク質を介した情報受容・伝達経路において、反応閾値がダイナミックに変化することが示されている。

国立環境研究所の兜真徳、石堂正美（2002、2004）の低周波電磁場の発がんへの影響に関する研究では、電磁場が G-タンパク質においてメラトニンと呼ばれる細胞増殖抑制効果をさらに抑制—つまり、二重否定による強い肯定—の結果、細胞増殖が引き起こされることを報告している。

ウミウシの連合学習に関しては、アルコン（1983、1987）の研究によって、G-タンパク質およびリン酸化酵素のダイナミックな変化が寄与していることが明らかにされている。

そして、ストレスタンパク質の産生といった、電磁波を含めたストレス反応における、ホルモン作用においても、G-タンパク質およびリン酸化酵素が関与している。

### 8-3. 電磁波の生体作用

#### —情報増幅系としての生命へのホルモン作用—

本報告書の‘はじめに’で、私は電磁波の作用として、電磁波エネルギーの準位から、電離作用、熱作用、そして非熱作用が存在することを述べた。微弱エネルギー電磁波の非熱作用として、本稿ではホルモン作用が存在することを論考してきた。ここで、これまでの非熱作用を‘生体作用’と呼び、その具体的影響を‘ホルモン作用’と明言したいと思う。

#### 電磁場ホルモン作用仮説

特定周波数・特定強度の電磁場は  
特定時間作用することによって  
生体にホルモン作用をおよぼす

自然界に存在する天然化学物質にしても、人類が作り出してきた人工化学物質にしても、その濃度の高低にかかわらず、生体への影響—薬理効果、急性毒性効果、慢性毒性効果—が存在していることが明らかにされてきたことは、20世紀の科学史に示されているとおりである。同じように、自然界に存在する自然電磁波にしても、人類が作り出してきた人工電磁波にしても、そのエネルギーの大小にかかわらず、生体への影響—ホルモン作用に基づく、例えば骨折の癒合欠如に対する治療効果、あるいは発がん、過敏症などをまねいてしまう生体障害効果—が存在していることが、動物実験、疫学研究、臨床医学研究、分子・細胞生物学研究によって明らかにされてきている。

化学物質・電磁場複合汚染による  
‘環境病発症’と‘病徴不覚症’

- 学習、思考、記憶障害
- 注意欠陥多動性障害
- 学力、知能低下、発達障害
- 行動、運動、機能的障害
- 感情、感覚、社会性異常
- 少子化
- 精神障害
- 若年性痴呆、自閉症

電磁場に高い感受性をもつ  
細胞・組織・器官

- 上皮組織：表皮、消化管粘膜
- 腺組織：性腺（卵巣、精巣）
- 造血組織：リンパ系細胞
- 神経組織：脳、脊髄、末梢神経
- 胎児組織：胎芽

第4回京都大学基礎物理学研究所 研究会  
坂部 貢 (2006.6.16.)

これまで、物理学者の多くが微弱エネルギー電磁波の生体影響を受け入れてこなかった背景には、‘物質の科学’に慣れ親しんできた自然観の弊害があることをここで、再度指摘したい。それは、いわゆる‘ $kT$ 問題’である(Blank, 1995)。ここで、 $k$ はボルツマン定数、 $T$ は絶対温度である。従って、 $kT$ は、自然界に存在する熱運動—すなわち、熱ゆらぎ—に相当する(ラベンダ、1985)。そして、生体作用を起こす電磁波のエネルギーレベルは、この自然界の熱ゆらぎである $kT$ よりも大きくなければならないと考えてきた。この物理学者の自然観に従うと、微弱エネルギー電磁波は生体への影響を及ぼさないことになる。

そこで、具体例としてイオンチャネルを考えてみたい。(Kobayashi and Kirshvink, 1995)。聴覚や平衡感覚を司る内耳の受容器官(パーカー、1981)で中心的な役割を果たしているのが有毛細胞(ハッドスペース、1983)である。

この有毛細胞の‘機械刺激受容体’(Findl, 1987)にあるイオンチャネルの研究から、次のような事実が明らかにされた。つまり、イオンチャネルには、分子が出入りを許されるゲートが存在しており、そのゲートの移動距離はおおよそ $4\text{nm}$ 、そのゲートの開閉に必要な力学的な力は、約 $1\text{pN}$ である。従って、このゲートの開閉に必要なエネルギー(つまり、力 $\times$ 距離)は、おおよそ $4 \times 10^{-21}\text{J}$ となる。この値は、ほぼ $kT$ に相当する。‘マグネタイト’と呼ばれる磁石が結合していると考えられるイオンチャネルの場合には、 $50 \sim 60\text{Hz}$ の電磁波が、

強度 1G でほぼ kT に相当するエネルギーなのである (Kobayashi and Kirshvink, 1995)。この計算は、マグネタイト結合イオンチャネルの場合であった。例えば、このマグネタイト結合イオンチャネルが、複数の刺激因子に対して反応性を変えるならば、電磁波の生体への影響がさらに低レベルでも生じることになる。富永真琴の痛覚過敏症の研究は、こうした可能性が否定できないことを示唆している。

チャネルゲートの移動距離	4 nm
ゲートの開閉に必要な力	1 pN

ゲートの開閉に必要なエネルギー	$4 \times 10^{-21} \text{ J } (\sim \text{ kT})$
-----------------	--

別の例を挙げてみたい。一般に、住宅街での送電線からの電力周波数電磁波曝露によって誘導される生体内の電場勾配は、1V/m 程度である。これに対して、多くの哺乳類細胞の膜電位ポテンシャルは 10<sup>7</sup>V/m (Adey, 1983; Luben, 1995) である。このことから、人工環境電磁波の影響は、無視できると言われてきた。しかし、多くの生物—例えば、水生生物 (Becker, 1990; オールマン、1999) やカモノハシ (グリフィス、1988)—は、1V/m の電場勾配を感知できるのである。

生体それ自体が、一種の情報増幅系であり、その本質は、私が‘構成的認識論’を提唱した際に提示した、入出力の入れ子的構成過程を表現した‘生命マンドラ’に凝縮されている。生命は、さまざまな環境の変化を認識し、学習してきたからこそ、その起源以来、数十億年にわたり進化を続けてきたのである。この環境認識・学習機能が、環境病発症過程へと転化してしまうところに、問題の本質と、その解明への難しさが秘められている。

人工化学物質の内分泌攪乱作用を発見したシーア・コルボーンは、自らが一見バラバラな現象を統合していった過程を、ジグソーパズルのピースを構成していく過程と見立てて回想している。私の‘生命マンドラ’の視点とは、こうして構成されたジグソーパズルが、より高次のジグソーパズルのピースになる—すなわち、おわりが新たな展開のはじまりである—という視点である。

#### 8-4. 電磁波の作用部位

—情報統合の成立と破綻の相同原理—

哲学者の市川浩は、著書『<身>の構造』の中で、階層的・成層的統合としての身（身体）の構成とともに、そうした階層的・成層的統合を破るような統合形式の必要性を‘身の生成モデル’を用いて論じている。生体の特徴は、「環境の刺激から相対的に自由であること」と言える。この‘自由’であるということによって、ある刺激に対していつも決まった反応が起こるのではなく、ある選択可能性を持つことになる。しかし、この選択可能性が過剰になると、逆説的に選択不能という‘不自由’に転化する。

私が本稿で繰り返し主張してきた、「環境の認識・学習過程が、環境病の発症過程である」という「対立の一致」は、こうした生命の統合形式から生じるのである。

こうした統合形式が可能になるのは、情報伝達ネットワークに、情報の集約点が存在する必要がある。脳神経系では、情動を生み出す大脳辺縁系と細胞膜レベルでは、G-タンパク質が、そうした集約点になる。そして、こうした集約点が電磁波の作用部位であるということを強調したい。

化学物質過敏症および電磁波過敏症の臨床データから、宮田幹夫（2004）によれば、大脳辺縁系は、化学物質および電磁波の共通の侵害部位に当たることを見いだしている。また、富永と兜、石堂の研究から、痛覚過敏症あるいは電磁波による発がんは、G-タンパク質における情報統合の障害として捉えられる。これらのことから考えると、電磁波過敏症においても、電磁波の作用部位はG-タンパク質ではないかと予見できる。もちろん、マグネタイト結合チャンネルも、電磁波の作用部位である。

また、ストレスタンパク質が低エネルギーの電磁波によって、産生されることを考えると、電磁波の生体への影響を調べることは、生命現象の基本原理を探求する重要な手法となり得る。

今日、学習能力の低下、社会性の欠如、家庭内暴力、凶悪犯罪の増加、キレやすい子どもと大人、不妊、離婚率の増加、アルツハイマー病、若年性痴呆、がん、うつ病などの増加は、これまでの常識では考えられない事態になっている。こうした問題を、教育、しつけ、社会制度、家庭や社会の人間関係の問題など、従来の枠組みだけで捉えようとするのは、創造的な学問のあるべき姿とは思えない。

情報統合部位のストレス反応があらゆる選択可能性を持つことを考えるならば、教育制度や社会制度の改革を叫ぶ前に、あまりに悪化してしまった地球生命圏の人工的環境を、化学物質汚染ばかりでなく、電磁波汚染の観点からも、浄化することが先決ではないだろうか。その意味では、科学（岩波書店、2004年1月号）の特集『毒—環境中の「毒」と人の健康』は、まさに時期を得た企画と言えよう。



## 9. おわりに

20世紀を駆け抜けた高度科学・技術発展の副作用が、21世紀の環境問題としてクローズアップされている。内分泌攪乱物質が明るみになった背景には、レイチェル・カーソン、有吉佐和子、シーア・コルボーンといった専門科学者ではない、教養ある女性の活躍があった。また、今日、いまだに衰える気配のない‘狂牛病’の拡大は、人為的行為の愚かさを浮き彫りにしている。しかし、環境問題への取り組みを見ると、水質汚染、空気汚染、農薬などの化学物質汚染、そして電磁波汚染と、それぞれへの取り組みは断片的なように見受けられる。ゾウを前にした盲人の比喻のように、私たちが、バラバラな知識を再構成できるかどうか、生命存続の鍵がある。

そのためにも、科学者が自己の専門分野に捕らわれない、新しい統合科学の学問創造へ向けて、新たな一步を踏み出さなければならない。ここに、果てしない構成過程の本質があり、それこそが世界の認識を進める生命の本質なのである。ところが、この構成過程が、思いもかけない環境病の発症を引き起こしてしまう。哲学者の西田幾多郎（1936）が晩年に述べている‘場所’とは、まさにこうした生命認識の発展と病気の出現、あるいは‘生と死’の世界を表現しようとしたのではないだろうか。そして、物理学者の寺田寅彦（1936）が、その絶筆となった『物理学序説』で論考しているのも、こうした‘生物の科学’の本質であった。こうした先人達の知恵を受け継ぎ、環境ホルモン作用が疑われる化学物質ばかりでなく、ホルモン作用が懸念される電磁波においても、今こそ‘予防原則’に従った対策が必要なのではないだろうか。

本稿が、環境問題への統合的取り組みの一助となれば幸いである。

## 文 献

1. Murase, M. (1992) *The Dynamics of Cellular Motility*. John Wiley & Sons; Chichester
2. Murase, M. (1996) Alzheimer's Disease as Subcellular 'Cancer': The Scale-Invariant Principles Underlying the Mechanisms of Aging. *Progress of Theoretical Physics* **95**, 1-36.
3. 村瀬雅俊（2000）『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
4. 村瀬雅俊（2001）「こころの老化としての‘分裂病’－創造性と破壊性の起源と進化」『講座・生命 vol.5』（中村雄二郎、木村敏 監修）河合文化教育研究所、河合出版

5. Niggli, H. J. and Applegate L. A. (2003) Biophotons: ultraweak photons in cells. In *Integrative Biophysics: Biophotonics*, Fritz-Albert Popp and Lev Belousov (eds.), Kluwer Academic Publishers; Dordrecht, Netherland, 361-385
6. Luben, R. A. (1995) Membrane signal-transduction mechanisms and biological effects of low-energy electromagnetic fields. In *Electromagnetic Fields: Biological Interactions and Mechanisms* (Advances in Chemistry Series 250), Martin Blank (ed.), American Chemical Society; Washington, DC, 437-450
7. Goodman, R. and Blank, M. (1995) Biosynthetic stress response in cells exposed to electromagnetic fields. In *Electromagnetic Fields: Biological Interactions and Mechanisms* (Advances in Chemistry Series 250), Martin Blank (ed.), American Chemical Society; Washington, DC, 423-436.
8. Kobayashi, A. and Kirshvink, J. L. (1995) Magnetoreception and electromagnetic field effects: sensory perception of the geomagnetic field in animals and humans. In *Electromagnetic Fields: Biological Interactions and Mechanisms* (Advances in Chemistry Series 250), Martin Blank (ed.), American Chemical Society; Washington, DC, 367-394.
9. 寺田寅彦 (1936) 『物理学序説』(寺田寅彦全集第十卷) 岩波書店 1997年
10. Liboff, A. R. (2003) Ion cyclotron resonance in biological systems: experimental evidence. In *Biological Effects of Electromagnetic Fields: Mechanisms, Modeling, Biological Effects, Therapeutic Effects, International Standards, Exposure Criteria*. Peter Stavroulakis (ed.) Springer-Verlag; Berlin, Germany, 76-113.
11. Adey, W. R. (1983) Field effects on neural nets: molecular aspects of cell membranes as substrates for interaction with electromagnetic fields. In *Synergetics of the Brain*, E. Basar, H. Flohr, H. Haken, and A. J. Mandell (eds.) Springer-Verlag; Berlin, Germany, 201-211
12. リンダー、M. E.、ギルマン、A. G. (1992) Gタンパク質、日経サイエンス9月号、46-55
13. ウエルチ、W. J. (1993) 細胞はどのようにストレスに反応するか、日経サイエンス7月号、106-117
14. Darwin, C. (1859) *The Origin of Species*. Prometheus Books; New York, 1991
15. Jerne, N. K. (1955) The natural-selection theory of antibody

formation. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 41, 849-857.

16. Burnet, F. M. (1957) A modification of Jerne's theory of antibody production using the concept of clonal selection. *The Australian Journal of Science* 20, 67-69

17. バーネット、F. M. (1959) 『免疫理論－獲得免疫に関するクローン選択説－』（山本正、大谷杉士、小高健 訳）、岩波書店、1963年

18. バーネット、F. M. (1962) 『生体の不思議－新しい免疫理論－』（梅田敏郎 訳）、紀伊國屋書店、1966年

19. バーネット、F. M. (1974) 『寿命を決定するもの－老化の生物学－』（梅田敏郎 訳）、紀伊國屋書店、1976年

20. バーネット、F. M. (1976) 『免疫・老化・がん－医学からみた突然変異と適者生存－』（小山次郎 訳）、共立出版株式会社、1978年

21. マッケイ、I. R.、バーネット、F. M. (1963) 『自己免疫病』（大谷杉士 訳）、岩波書店、1967年

22. Greaves, M. (2000) *Cancer: The Evolutionary Legacy*. Oxford University Press; Oxford

23. 能登春男、能登あきこ (1999) 『明日なき汚染 環境ホルモンとダイオキシンの家－シックハウスがまねく化学物質過敏症とキレる子どもたち－』集英社

24. ランドルフ、T. G. (1962) 『人間エコロジーと環境汚染病－公害医学序説－』（松村龍雄、富所隆三 訳）人間選書 92、農山漁村文化協会、1986

25. ランドルフ、T. G.、モス、R. W. (1986) 『ランドルフ博士の新しいアレルギー根絶法－現代の難病（アトピーから心身症まで）が治る－』（河野泉、石川広己 訳）、桐書房、1994年

26. 汐見文隆 (1994) 『低周波公害のはなし』晩馨社

27. 石川哲、宮田幹夫 (1999) 『化学物質過敏症－ここまでいた診断・治療・予防法－』かもがわ出版

28. 石川哲 (1993) 『化学物質過敏症ってどんな病気－からだから化学物質【農薬・食品添加物】を除去する健康回復法－』合同出版

29. シトウウィック、R. E. (1993) 『共感覚者の驚くべき日常－形を味わう、色を聴く－』（山下篤子 訳）、草思社、2002年

30. 角田忠信 (1978) 『日本人の脳－脳の働きと東西の文化－』大修館

31. 角田忠信 (1985) 「脳のスイッチ機構」サイエンス 8月号、94-103

32. 角田忠信 (1992) 『右脳と左脳－脳センサーでさぐる意識下の世界－』小学館

33. オールマン、J. M. (1999) 『進化する脳』（養老孟司 訳）別冊日経

- サイエンス 133、日経サイエンス社、2001年
34. 井上昌次郎 (1988) 『睡眠』 化学同人
  35. 井上昌次郎 (1989) 『脳と睡眠—人はなぜ眠るか』 共立出版
  36. サイモンタッチ、C. (2000) 『クレージー・メーカー：脳を壊す食品をなぜつくるのか』 (脇山真木 訳) 東洋経済新報社、2002年
  37. エーデルマン、G. M. (1992) 『脳から心へ—心の進化の生物学—』 (金子隆芳 訳) 新曜社、1995年
  38. ワートマン、R. J. (1982) 「脳の働きを修正する栄養素」サイエンス 6月号、22-33
  39. 出口武夫 (1982) 「松果体と生物時計」サイエンス 6月号、81-91
  40. ストライヤー、L. (1987) 「分子レベルで解明された視細胞の興奮機構」サイエンス 9月号、48-61
  41. アルコン、D. L. (1983) 「ウミウシの学習と神経回路」サイエンス 9月号、26-37
  42. アルコン、D. L. (1989) 「記憶とニューラルシステム」サイエンス 9月号、52-64
  43. カリル、R. E. (1990) 「脳の発達とシナプス形成」サイエンス 2月号、16-25
  44. Fernald, R. D. (1997) The Evolution of Eyes. *Brain Behav. Evol.* 50, 253-259
  45. Semm, P. and Beason, R. C. (1990) Responses to small magnetic variations by the trigeminal system of the Bobolink. *Brain Research Bulletin* 25, 735-740
  46. Simon, M. I., Strathmann, M. P, and Gautam, N. (1991) Diversity of G proteins in signal transduction. *Science* 252, 802-808
  47. Lamb, T. D. and Pugh, E. N., Jr (1992) G-protein cascades: gain and kinetics. *TINS* 15, 291-298
  48. Rea, W. J. (1992) *Chemical Sensitivity Vol.1: Mechanisms of Chemical Sensitivity*. Lewis Publishers; Boca Raton, FL
  49. Rea, W. J. (1994) *Chemical Sensitivity Vol.2: Sources of Total Body Load*. Lewis Publishers; Boca Raton, FL
  50. Rea, W. J. (1996) *Chemical Sensitivity Vol.3: Clinical Manifestations of Pollutant Overload*. Lewis Publishers; Boca Raton, FL
  51. Rea, W. J. (1997) *Chemical Sensitivity Vol.4: Tools of Diagnosis and Methods of Treatment*. Lewis Publishers; Boca Raton, FL
  52. ダマシオ、A. R. (1994) 『生存する脳—心と脳と身体的神秘』

(田中三彦 訳) 講談社、2000年

53. Becker, R. O. (1990) *Cross Currents: The Promise of Electromedicine, The Perils of Electropollution*. Jeremy P. Tarcher/Putnam, New York

54. ピアジェ、J. (1952) 『知能の心理学』 (波多野完治、滝沢武久 訳) みすず書房、1960年

55. ピアジェ、J. 『発生的認識論』 (滝沢武久 訳) 白水社、1972年

56. リードル、R. 『認識の生物学—理性の系統発生史的基盤』 思索社、1990年

57. レビン、S. (1971) 「ストレスと行動」別冊サイエンス『特集 生体情報学 ホルモン』 (伊藤真次 編) 184-191、1981年

58. 黒田洋一郎 (2003) 「子どもの行動異常・脳の発達障害と環境化学物質汚染：PCB、農薬などによる遺伝子発現のかく乱」科学 73、11月号、1234-1243

59. 兜 真徳 (2003) 「電磁波と脳障害—Salford らの論文について—」科学 73、12月号、1273-1276

60. 有吉佐和子 (1975) 『複合汚染』新潮文庫

61. 市川浩 (1984) 『<身>の構造—身体論を超えて—』青土社

62. 飯田陶子、富永真琴 (2002) 「痛み・温度を感じる」特集1『分子を感じる：感覚の分子生物学』細胞工学 21、12月号、1420-1424

63. 前田垣 (1985) 『生物は磁気を感じるか—磁気生物学への招待—』ブルーバックス B-630、講談社

64. 近藤宗平 (1982) 『生命を考える—遺伝子・進化・放射線—』岩波現代選書

65. 兜真徳、石堂正美 (2001) 「電磁波の健康リスク—超低周波の磁界に発がん性はあるか—」科学 71、2月号、150-159

66. フィッシュバック、G. D. (1992) 「脳はどこまでわかったか」別冊日経サイエンス『脳と心』伊藤正男、松本元 (編集) 日経サイエンス社、1993年、10-21

67. Friedberg, E. C. (1985) *DNA Repair*, W. H. Freeman and Company; New York.

68. パーカー、D. E. (1981) 「平衡感覚をつかさどる器官」サイエンス 1月号、84-95

69. ハッドスペース、A. J. (1983) 「内耳の有毛細胞」サイエンス、3月号、88-101

70. ラベンダ、B. H. (1985) 「ブラウン運動」サイエンス、4月号、60-73

71. グリフィス、M. (1988) 「カモノハシ」サイエンス、7月号、70-79
72. ゲルダード、F. A.、シュリック、C. E. (1986) 「触覚の跳躍現象を探る」サイエンス、9月号、95-101
73. Becker, R. O. and Selden, G. (1985) *The Body Electric – Electromagnetism and The Foundation of Life*, Quill, William Morrow; New York
74. Findle, E. (1987) Membrane transduction of low energy level fields and Ca<sup>++</sup> hypothesis. In *Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems*, M. Blank and E. Findl (eds.), Plenum Press; New York
75. Blank, M. Biological effects of environmental electromagnetic fields; an overview. In *Electromagnetic Fields: Biological Interactions and Mechanisms* (Advances in Chemistry Series 250), Martin Blank (ed.), American Chemical Society; Washington, DC, 1-10
76. カーソン、R. (1962) 『沈黙の春』 (青樹梁一 訳) 新潮社、2001年
77. コルボーン、T.、ダマノスキ、D.、マイヤーズ、J. P. (1996) 『奪われし未来』 (長尾力 訳) 翔泳社、2001年