

宇宙・地球環境条件から地球重力場での人間の活動・生存原理を解明する

東大 ○跡見順子¹, 井尻憲一², 二川 健³, 山下雅道⁴, 高沖宗夫⁴

Studies for principles of human activities and survival on the Earth from factors governing space and the earth environments

Yoriko Atomi¹, Kenichi Ijiri², Ken Nikawa³, Muneo Takaoki⁴, Masamichi Yamashita⁴,

¹ The University of Tokyo, Integrated Research System for Sustainability Science (IR3S), Human Sustainability Project (HSP), Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan 113-5876

E-mail: atomi@idaten.c.u-tokyo.ac.jp

² The University of Tokyo, Radiosotope Center, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan 113-0032

E-mail: ijiri@ric.u-tokyo.ac.jp

³ Tokushima University, Department of Bioscience,

E-mail: nikawa@nutr.med.tokushima-u.ac.jp

⁴ JAXA

E-mail: yamashita@surc.isas.jaxa.jp, takaoki.muneo@jaxa.jp

Abstract: Recent vast progress of analytical science has produced new problem in our human society. Most scientific researchers as well as general people have hardly thought totally about our own dual existences such as own body of biological system constituted of cells as nature itself and thyself as a human including man-made spiritual existence. We should remember a discovery of “eye” for vision under light during evolution with morphology to show and move, because nobody can be hidden or escape similarly to gravity. But nowadays people live in virtual world and hardly remember own body until being taken by diseases or disorders. Humans have gotten longevity, but its condition has been deteriorated. Gravity is one of factors to contribute our living system to be healthy, because our biological system is constructed based on at least three important conditions under gravity on the earth as follows: 1) activity-dependent system at both levels of the cell and body, 2) morpho-dynamic system constituted of the cytoskeleton and extracellular matrix as a fulcrum, and 3) self organization to keep centering their mass at both levels of the cell and body. Although researches are focusing effects of gravity on plant and animals, we should think more seriously about constitution of human beings from aspect of gravity. We propose Gravity Health Science, which will interconnect human and environment, and visualize an essential principles to know an important axis to make principle of human beings as well as basic biological system of three axes, shown in morphogenesis and morphodynamics. Space Utilization should be applied for us to understand our biological system in order to compare with phenomena under gravity and space including other species, such as monads, plants and other animals, and artificial humanoid.

Key words: Human Biology, cell & molecular biology, three axes, morphodynamics

1. 宇宙・重力科学は現代社会の諸問題への解答を“見せる”ことができるか。

宇宙・地球環境に生きるヒト・人間をふくめての生物学、生命科学を、宇宙利用研究の一本の柱にしたらどうだろうか。宇宙基本法に対して、私たちは宇宙の無重力環境を利用して、人々が、身そのものだからこそ最も理解しにくい自分自身の存在や身体の原理・心の原理を明らかにするための科学とその成果を地上に生きるすべての人々の幸福に還元する必要がある。人間は抗重力のために人工物を用い、現代科学技術社会を作り上げた。この人類の文明の発展は、ヒトの寿命を延伸させたと同時に多くの健康問題（生活習慣病・転倒・鬱病・認知症・アルツハイマー病等）を招来させた。現在の脳科学・生命科学は、これらの問題が**進化の原動**

力でもある「活動依存性生命システム」の不使用による劣化であると示している。対処的に解決策を提示する医学は先端的に進んだものの、**生命の形の持つ意味、細胞の位置価、力、時間などの生存の基本と生きている状態が成立する各種ホメオスタシス条件（pH・温度・浸透圧・血糖・力／圧・ストレス物質）を維持するファインな応答機構のシステム理解**は未だ手つかずのままである。

六百年前に自らの技を対象化してみる視点をもっていた世阿弥のことは「離見の見」は古代ギリシャの哲人達が遺した「汝を知れ！ gnouthi seauton！」と同じ視点で現代にまで自身の存在を対象化した賢者の眼の深さを伝えてくれる。宇宙飛行士である Joan Vernikos が著した“The G-Connection”は、これらの先人達の眼差しに近

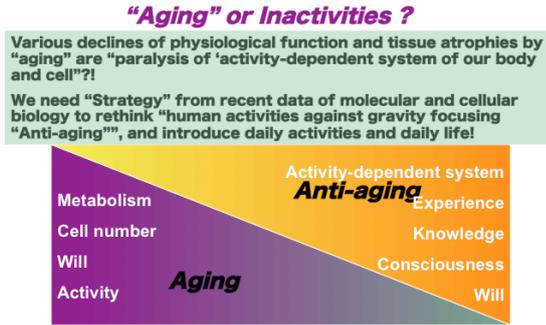


Fig. 1 What is “Aging mechanism”?

い。無重力の場の面白さと表裏一体となった長期滞在による身体劣化は、成長にともない便利さと効率性に負けて不活動になる身体に忍び寄る身体劣化と酷似している(図1)。とくに現代日本のやや歪んだ教育体系の元で、半世紀前に生まれかかった「人間の生物学」の芽は、この生命科学が隆盛な現代においてさえも皆無である。人工物により長寿を手に入れただけでは「適切に使い続けられないと活動原理が機能しない。個体の生存への道が歪んでゆくように仕組みられている多くの現象を、ヒトにまで適用する緊急性がある。宇宙と地球上での身体応答の比較、不活動の恐ろしさ、高齢化対策など、抗重力原理で創られ進化してきた身体環境応答原理を、宇宙・重力生命科学の基盤から可視化する必要があるのではないか。

アンドリュー・パーカー(Fig. 2) は、カンブリア紀の多様な生物種の爆発的な進化は、「眼の誕生」であることを発見し、詳細に検証し、視覚の進化が他の感覚系との明瞭に異なる二相性になることを示した(Fig. 2)。逃れられない光の下で、「見る」「見られる」という自他の関係をどう有利に作り上げるかが、淘汰圧になったとする考え方はともすれば忘れがちな視覚と運動の一体関係の意味を気づかせてくれる。世阿弥や宇宙飛行士に習い、動物としての高度な制御系を受け継いだ自身の身体を使って、足の下が揺れる電車の中で、眼を閉じ、定位置で揺れないように立位をコントロールしてみると、視覚なしでも固有受容感覚と対になった身体コントロールが可能であることが分かる。しかしこと歩行・走行などの移動を行おうとすると、視覚なしにはほとんど不可能であることが一瞬にして理解される。他者や外界との関係の把握と自身の移動や運動は、地球という場では一体にするシステムを発達させないと、ほぼ”移動するシステムである動物”は、生存が不可能であることが分かる。

「百聞一見に如かず」の言通り、見ること、見せることは、現代科学技術の方向であり、GFPの発見者にノーベル賞が与えられた人間の知への要求が背景にあることが理解される。それでは宇宙利用研究は、何を国民にみせるべきか。様々な科学技術を、人間が人間を知るために組み直しを図るべき時代になっている(Fig. 3)。科学技術を使うだけでは人間が進化しない。

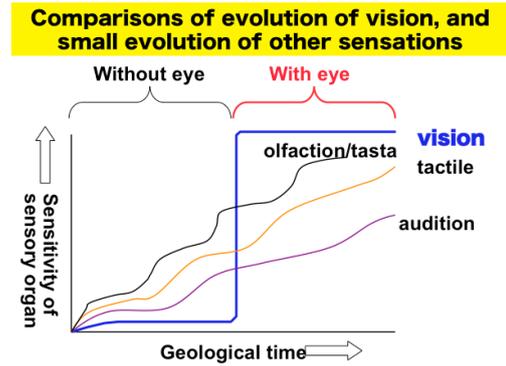


Fig. 2 An outline of geologically evolved process of receptors for various stimuli.. Only vision clearly has two phases geologically, compared with gradual changes for others. First appearance of eye completely changed all five hundred and forty three million years before. (In the blink of an eye- The cause of most dramatic event in the history of life. Andrew Parker (2003) The Free Press, an imprint of Simon & Schuster UK Ltd.)

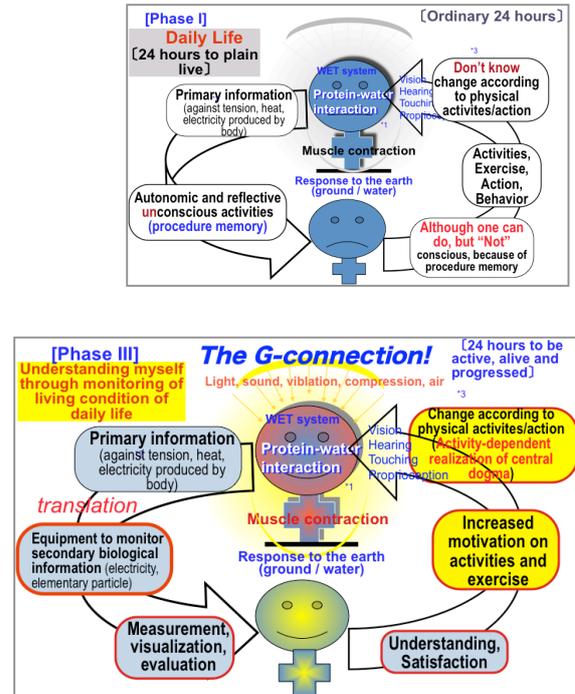


Fig.3 The G-Connection Aha experience realized by visualization and understanding of gnouthi seauton: (A) Ordinary life plain to live, (B) 24 hours to be active, alive and progressed through monitoring own biological and physiological information in daily life activities. *1:most function of human body was produced by the interaction of proteins and surrounding water. *2: human communication with environment is produced by perception through vision, hearing, touching and proprioception to physical dry factors, such as light, sound, vibration, compression, air. Most responses to various stimuli is tension/strength produced by muscle contractions. This is also dry/invisible. However, biological system is produced by wet chemical activities after perception of stimuli. 3. Realization of learning, adaptation, and evolution is owing to just creative “activity-dependent system”.

本稿では、とくに重力場における生命のつくり、宇宙実験が示す宇宙・地球環境因子からの拘束／開放の比較、他の生物や生体物質さらにヒトのES細胞やiPS細胞やヒューマノイド等との比較によって見えてくる人間の活動／生存原理を通して、現代社会に生きる我々人間の生存の問題を明らかにし、人間が健康を維持するための至適状態の評価方法の原理究明及び開発「重力生命科学」を提案する。

生物学の領域を進化の頂点にたどり着き動物であることを忘れて身体や生命を活かしていない人間の生命の科学の構築に宇宙を利用する提言をしたい。学問の対象からはずれた生物としての人間の問題、見えない重力と夜明け前の人間生物学、要素還元論的の科学の進展、生命の安全と健康と重力及び宇宙環境因子、「人間の身体のかたちと制御」等の問題の考え方について展開してみたいと思う。

2. 宇宙・地球環境と生命の創成・生存原理

人間ほど気分に左右される動物はいないだろう。ヒトの身体と心の状態は密接に関係があるにもかかわらず科学の土台にのせる基盤がない。本来は行動と対になって進化したと思われる視覚が今や聴覚の対象だった携帯電話さえ、携帯メールとして文字という視覚情報に変換され、一人歩きしている。視覚主体に脳の仮想空間を生み出す人間にどのように自身のシステムが40億年前に生まれ、5億4300万年前に飛躍的に進化した動物たちがもつ能力を宿した身体をもっている事を理解させることができるのであろうか。高沖は、「重力」の実験モデルの困難さを記号論的扱いで展開することを提案している。

生物を主体として生物の側から生命現象を解析しようとする生物記号論(Biosemiotics)という考え方がある。生物記号論においては、生物が様々な外界条件の中から特定の事象をある意味をもつ記号(sign)として捉える。「記号」は日常語の記号より広範かつ柔軟な概念で「それ自身とは異なる何か他の物事を表す」もの全てであり、主体性を持った存在が解釈することによって初めて作用が現れる。この「解釈」も知的過程には限定されない。例えば、細胞増殖因子と細胞膜上の特異的受容体との結合は、細胞周期の始動を意味する記号となる。細胞増殖因子等の機能を改めて「記号」と呼ぶ必要性は無さそうに見えるが、重力を扱う際には極めて有用な考え方になり得る。植物にとって重力は重力屈性を意味する記号である。根のコルメラ細胞アミロプラストの沈降という物理現象が細胞内信号に変換されて幾つかの過程を経てオーキシン輸送タンパクの分布極性が変化する。この物理的沈降から細胞内信号への変換が、コルメラ細胞中の未解明の主体によって行われた、重力という記号への解釈である。この解釈の中身を明らかにすること、すなわち重力環境情報を細胞信号に変換する過程の分子機構を解明することが、重力生物学の中心課題だと謂えよう。

重力に関する物理現象が生体信号に変換される過程

は、アミロプラスト沈降の例に限らず、全くと言って良いほど調べられていないし、そのための研究手法すら確立していない。従って、「重力応答」として観察される生物現象は、重力に関係した何らかの物理現象を生物が検出し、それを記号として解釈した対象である、という理解を出発点として、実験手段を開発する必要がある。様々な重力応答について、この記号が何であるかを見極めるのが、重力生物学の中心課題に迫るための有効な第一歩になると考えられる。

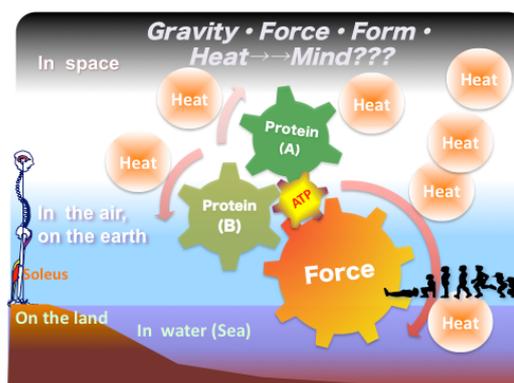


Fig. 4 Close relations among tension development, energy and heat production. Animals including human beings have to move for their survival. Continuous muscle contraction gives animals to find appropriate condition among tension development, energy and heat production, which keeps suitable temperature for chemical reaction and protein homeostasis.

生命は、環境からの各種ストレスに対して内部の恒常性を維持するようにシステム創成し進化してきた。とくに動物は、生存のために移動が必須であり、そのためには細胞内の一定の化学反応速度維持が必須である。ヒトを含む哺乳類及び鳥類は37~42℃のきわめて狭い範囲の体温で活動を維持している。個体の体温維持と活動とは表裏一体の関係にあり、哺乳類では骨格筋の仕事効率を低下させてさえも産熱機能を高める進化をしてきた。抗重力筋の特性と温度との特異的な関係から、重力・熱・仕事というマクロな現象は、細胞のダイナミックな形態維持機構を担う細胞骨格と α -B-クリスタリンを代表とする基盤タンパク質とそれらの分子シャペロン(ストレスタンパク質)のタンパク質のホメオスタシスを維持し続けるミクロなプロセスの積み重ねであることを端的に示すものである。

3. 宇宙・地球における生命の場と生命の四階層をヒト・人間につなぐ重力健康科学

要素還元論的な科学技術からうまれた知を、私たち生きている人間が利用しやすいように描き直してみる「知の構造化」が必要だ。科学技術の方法論も、細胞や動物だけではなく、我が身が実験対象になることを考えると蛍光分子の限界が見えてくる。CTで体内を可視化するのも被曝量を考えると、一見恐ろしいPET解析の方が安

全だ。被爆量は 1/4~5 倍ですむ。入れ替わることで違いをキャンセルしている生物のシステム原理の理解には放射性元素の利用が適している。そのように研究方法も含めてヒト・人間理解への宇宙・重力生命科学をモデル化してみた (Fig. 5)。

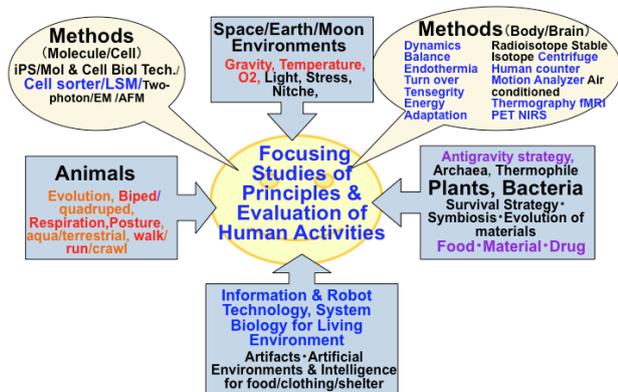


Fig. 5 Elucidations of Principles of Human Life & Survival Strategies in Space/Earth Utilization. Modern problems of human beings are increasing, mostly resulting from declines of antigravitational capacity & function, such as declined survival ability, life-related disease, aging, fall, accidental ingestion, depression, neurosis, infection, Alzheimer diseases. Human biology focusing into cell-to-body/brain dynamics interacting environments of space including the earth is necessary for elucidation for these problems.

環境因子と生命システム: 重力及び他のストレスへの応答は、巨大分子が構成する生命の単位である細胞単位で応答し時々刻々と作り替えている。最近新学術研究領域としてスタートした分野に、細胞骨格の一つであるアクチンの水との関係が他のタンパク質と異なることから、動的なシステム創成に特別なタンパク質に関わるという推察が受け入れつつある。タンパク質のみならず DNA にして細胞の境界をつくる膜脂質にしても同様である。重力場におけるダイナミックな不安定性こそ生命つくりの基本である」という以前からの私たちの主張がこの宇宙利用環境で認められないのは寂しい。アクチンと類似のチューブリンとその構造変化を認識するであろう α B-crystallin に関しては、藤田等の報告を見て欲しい。エネルギーを消費して化学的ホメオスタシスのみならず形態依存的な力学ホメオスタシスを生み出している細胞骨格は植物においても重要な重力応答分子となっている (保尊等)。興味深いのは、外部に細胞壁をもつ単細胞生物のバクテリアや酵母の方が小さいが堅く集団になると思いも寄らない水媒体との関係を生む点である (最上等)。バクテリアでさえ細胞内の巨大物質 DNA クロマチンを定位置に配置するためであろうか、細胞骨格をもつ。ましてや 50~100 倍も大きな核やミトコンドリアなどを擁している我々ヒトを含む多細胞動物の細胞核は、柔らかいからこそ移動や運動に伴う機械的刺激や身体丸ごとと応答する重力場における身体応答のダイナミクスの影

響を受けないわけがない。

多細胞生物と重力/ストレス応答の二つの階層: 多細胞生物の体をつくるほとんどの細胞は、フリーで漂っているわけではなく、細胞同士あるいは基質に結合し、組織や器官、そしてそれらは互いに間充織・結合組織をつくる細胞が生み出した繊維状やゲル状の構造物でつながって個体の運動が生み出す力や張力の影響を受けつつ分化成長する。腱や骨、筋線維、あるいは皮膚には運動により変形する身体の発揮する力や部位により異なる力をうけている。常に伸張されるにせよ、ゆるむにせよ何らかの機械的刺激が加わっており力学的なホメオスタシス維持のために張力を感じし応答する固有受容感覚システムを発達させている。さらに発生時の位置価により分化した細胞は、自身でも細胞外基質タンパク質を合成分泌し、自らの力学的環境をつくる。故に個体の運動は、循環系や神経系などのシステムに制御されると同時にそれらの特殊化した細胞以外のほとんどすべての細胞も重力/ストレス応答をしている。両者の交互作用をどのように考えるかは今後の課題である。個の「体」の内部には、細胞間/細胞-基質間相互作用の問題、「体」の外部には、二重の内部(体と細胞)のホメオスタシス維持のためのシステムを機能させるという二階層がある。

ヒト・人間の問題: ヒトは、転倒危険大の二足歩行を選んではしまった。それ故、脳による身体支配が必須になった。これが人間文化の脆弱性、知識や学習による強靱性の両側面を生み出したともいえる。大きさを重視するべきはずが、身体を見失い、分子や遺伝子の読み枠を決める身体の活動のマクロ-ミクロ連携を見失っている。当然、身体は病気になり細胞が叫び声を上げるまで自分自身の生存原理が分からない。宇宙実験の初心に返り生体の脆弱性の促進 ("The G Connection") と高齢化問題を科学として取り組む必要があるだろう。翻ってみると「二足歩行」の不安定性が、多様な文化、多様な価値観を創成したと考えられるがその負の面を克服するのが科学の役目だろう。「重力/重量対応の身体の知恵」を宇宙環境利用により重力健康科学へ発展させる必要がある。「このころのホメオスタシス」は、「抗重力・抗重量・抗転倒身心操作戦略」により獲得されるのではないかと。

筋の萎縮過程とそのきわめて適応的な分子機構から、きわめて動的でかつ不安定をあえて追求してきた細胞や身体の原理が見えてきた。それは重力場で作り上げてきたシステムであるからであろう。生命の単位である細胞の生死は、永久につかむことのできない安定性を求める変化の持続的維持にかかっている。しかし細胞は細胞の活動性を決めるのではない。個体の活動性は、人では本人の意志が決める。生命の環境としての宇宙環境がもつ特性への詳細な研究はこれからである。また宇宙利用研究を可視化することもまた今後の問題である。宇宙基本法は科学を人間側にたぐり寄せる返還期を我々に知らせたともいえるかもしれない。