

統合・代替医科学的問題と重力健康科学の展望：宇宙実験から地球生物・人間を考える

東大 ○跡見順子¹, 藤田恵理¹, 大澤具洋¹, 桜井隆史², 小黒麻美², 高沖宗夫³, 山下雅道³, 跡見友章⁴, 山口耕平⁴, 只浦寛子⁵, 徳永恵子⁵, 富田-横谷香織⁶, 片山直美⁷, 吉川研一⁸, 原田崇広⁹, 清水強¹⁰

Role of space biology for human sustainability: View of gravity health science focusing complimentary and alternative medical sciences

Yoriko Atomi¹, Eri Fujita¹, Tomohiro Ohsawa¹, Takashi Sakurai², Asami Oguro², Muneo Takaoki³, Masamichi Yamashita³, Tomoaki Atomi⁴, Kohei Yamaguchi⁴, Hiroko Tadaura, Keiko Tokunaga⁵, Kaori Tomita-Yokotani⁶, Naomi Katayama⁷, Kenichi Yoshikawa⁸, Takahiro Harada⁹, Tsuyoshi Shimizu¹⁰

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, Dept. of Life Science, Komaba, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-8902

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

³ JAXA

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

⁴ Tokyo Metropolitan University, Dept of Frontier Health Science, Arakawa-ku, Tokyo Japan 116-8551

E-mail: atomijkovic@song.ocn.ne.jp

⁵ Miyagi University, School of Nursing, Taihaku-ku, Sendai City, Miyagi Prefecture, Japan 982-0215

E-mail: tadaura@myu.ac.jp

⁶ Tsukuba University, Dept. of Life Science, Tennohdai, Tsukuba City, 305-8572

E-mail: kaboka@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

⁷ Nagoya Women's University

E-mail: naomik@med.nagoya-u.ac.jp

⁸ Kyoto University, Dept. of Science

E-mail: yoshikaw@scphys.kyoto-u.ac.jp

⁹ Fukui University, Dept. of Technol.

E-mail: harada@life.ne.his.fukui-u.ac.jp

¹⁰ Institute of Space Physiology, Suwa, Nagano

E-mail: tsuyoshi@smc.or.jp

Abstract: Recent vast progress of analytical science, especially molecular and cellular biology 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. People live in virtual world and hardly remember own body until being taken by diseases or disorders. Gravity is one of factors to maintain 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 play a role to consider an essential problem to know an important axis to make principle of human beings. Space biology may contribute to characterize our human system that governs our body and mind, compared with phenomena under gravity and space. The working group for human system focuses to study a method of self-control with consciousness to organize own body and stature from brain imaging using fMRI and NIRS and biomechanical analysis of fluctuating keeping postures, which is constituted of morpho-dynamic cell system with instability. Even only to keep posture/upper body straight against gravity, even to do deep respiration performed by diaphragm, and to do slow exercise, all of which need balance with consciousness

and activate our human body system. Space Utilization should be applied for us to understand human balancing system of their bodies with consciousness, like playing Tai-Chi Chuan. These exercises may contribute maintenance of our dual system of body and mind, even under space as well as on the earth. Because we can control these muscles constituting of trunk without ground as fulcrum to develop tension in place of using fulcrum produced by imaging center of the truck, called by 'Tanden'.

Key words: Space Utilization, Human Biology, balance, posture, morpho-dynamics

1. 研究構想

本WGは「重力健康科学」という新しい21世紀の新しい人間像を樹立するための概念を提唱するための研究を提案するものである。人間は、身体は自然そのものでありながら、人工的な環境をつくりだし精神性を獲得して進化してきた[図1:二つの存在として生きる]。本WGはまた、宇宙の無重力環境を利用して地上での人間の様々な問題のエッセンスを明瞭に示すことを目的としている。地上で暮らしているすべての人々が、地球の重力がいかに私たち人間の健康で幸せな生活のために重要であるかを提示する。またあまりに当たり前の重力場で当たり前に行っている構え、運動、所作、そして身心を連携してのみ可能な様々な芸術や巧みな動きあるいは武術などの人間の文化性をも重力をうまく利用してきたかを明らか明示する。そのことで現代社会における子どもから高齢者にいたる様々な不幸な問題に対しても重力健康科学の立場から解決策を提起できると考える。

(1)これまでのWGの課題との関係及び医療をとりまく

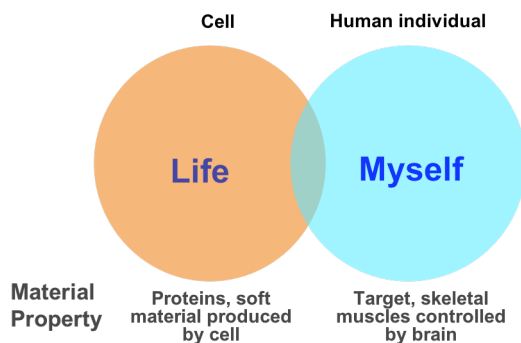


Fig. 1 Dual Existence (Life & Myself)

重力が鍵となる新しい研究分野への発展

平成 16 年度選定WGヒトにいたる地球上生命(動物)の進化と「ヒトの生物学」研究班一分子・細胞から個体までを「運動と適応」でつなぐ宇宙利用基盤研究一から出発し、単に人間の動作を解析するのではなく、生命の単位である細胞の特性を説明する平成 18 年度の「ダイナミック適応重力場」と生物原理を探る宇宙利用基盤研究で原理を明らかにすることを議論した。そして本年度は、さらに様々な環境で暮らしている人々の生活の場において重力を意識した日常の活動がいかに重要であるかを、身体を扱う様々な分野(健康な人々のみならず理学療法対象者や看護の対象となる入院患者など)での問題も

検討することにした。「重力」というキーワードは、それらの分野でほとんど用いられておらず、重力場に生きていることの重要性及び重力場での姿勢や身体操作がいかに繊細な活動を進化させてきたか、はこれらの日常生活を取り囲む人々の脳裏にはほとんど意識されていない。身体に関する問題が顕在化しているこれらの分野の問題を顕在化させるためのワーキンググループでの論議を行い、それらが無重力宇宙空間における様々な能力減退問題と深い関係にあること、そして無重力環境におけるこのような問題に解決するために、人間の健康な生存への「重力」の有無の影響を科学にすることができればきわめて多くの人々に貢献する研究となると考えた。

(2)身心問題としての重力

また本研究は、重力と運動を支える骨格筋の関係を量的な問題としてとらえるのではなく、重力場で身体を統一として制御する脳との関係で立位での生活からうまれたであろう人間創成の核心に迫ろうというものである。すなわち身体を重力に抗して立てることの身心連携の意味や臥位で長期に寝かせている当たり前になってしまっている病院での肢位に対しても、その妥当性について問題を提起するものでもある。そしてそのような疑問を投げかけるのは、古来人々が追求してきた身心一体を獲得する作法があること、人間にとって必然性のあるものであることによる。

(3)重力の有無による人間所作の差違と共通点から人間所作の核心を明らかにする

Kaneko K のグループ(Kaneko M., K. Miyatsuji, S. Tanabe., Energy expenditure while performing gymnastic-like motion in spacelab during spaceflight:case study. Appl. Physiol. Nutr. Metab. 31:1-4, 2006)がエネルギー代謝量を解析した毛利衛宇宙飛行士が宇宙空間で行った体操がある。動きから計算したエネルギー消費量は地球上の歩行とほぼ同等であった。我々はエネルギー代謝よりも、地上では運動の際の反作用をうみだす着地点がない宇宙環境では、どこに張力発揮の支点をつくっているかに興味をもった。これを金子公宥等に解析を依頼したところ、飛行士自身の身体内の重心がある部分を張力発揮の支点として体操していることが明らかになった。このことから、重力の有無に関わらず、人間の身体の形態及び人間の身体動作の基本が示唆されていると考えた。反作用を利用することの可能な地上実験としてこれらを意識した人間の身体操作の合理性とくに体幹の調節の重要性を

脳科学や繊細なバイオメカニカルなシミュレーションを用いることで明らかにすることが、人間の身心問題を解く鍵となることが示唆された。

(4) 身心問題への解決策の提示

高齢期における認知症の発症や、若年者においても子どもでもうつ病や統合失調症などの精神疾患が増加して大きな社会問題となっている。また地上のみならず宇宙環境での長期滞在時にも問題になる身心問題への人間科学的な解答を提案してゆくことが喫緊の問題である。これらの近代科学技術社会における大きな身心問題に対して、解決策を提示することが可能であると考えており、その意味でも「重力健康科学」を提唱したい。

(5) 評価系の再検討: ホメオスタシス評価軸を考える

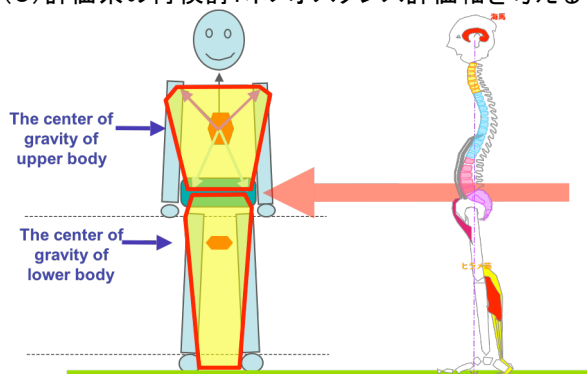


Fig.2 The center of gravity in human body

従来運動生理学やスポーツ科学で用いていた評価系一すなわち最大値を基準に評価する尺度が、身心問題を含みかつホメオスタシス維持を機軸として構築している生命体に適切であるかどうかは再考しなければならないと考える。大きいことは必ずしも健康な身体あるいは健康な細胞には適切ではないからである。熱や pH あるいは血糖などの化学的反応により生きている状態を維持している生体系において一定のホメオスタシス範囲内で高度の制御能をもつ統合体としての細胞原理を中心に考える基盤で、身体や身体運動をも考える視点に切り替えて評価系を考案する必要があると考える。

(6) バランス能と柔らかい素材からなる人間の問題

これまでほとんど解析系が提唱されていないが、重力場で力を発揮する生命システム基盤を考える際に真っ先に考慮すべき要件である自立統合能の要件である重力場におけるバランス能及びその特性に大きな影響を及ぼす生物材料の影響—つまり柔軟なタンパク質からなる生体についても考慮する必要がある。四本足の机が安定なように四足動物は安定に移動する。図 2 にみるように立位のヒトの脊椎の側面図ではS字上にカーブして垂直方向の上下移動の衝撃にはクッション役を果たしている。しかし正面図では胸骨が結合している胸部と骨盤が結合している仙骨の間の腰椎の部分は、ただ腰椎のみがあるだけできわめて不安定な構造をしている。実際、上半身と下半身の塊のつなぎ目が腰椎3-4番位である。腹側には腹横筋・腹直筋・腹斜筋が、背側には腸腰筋

が発達しているが、それらは体幹をうまく機能させ有効に収縮させないと腰椎付近は身体重心が位置する部位であるにもかかわらず何も解剖学的構造はない。さらに面白いことに、体幹は四足動物にとっては微細な制御の対象になるとは思えないが、人間では古来、臍下丹田、腹式呼吸や横隔膜呼吸など東洋的な身体技法では繊細な身心を連携する調節可能な部位として認識されてきた。つまり脳による制御の可能な部位であることになる。

(7) 動きを生み出す解剖学的束と生成する動き

さらには、重力場での身体づくりと移動の関係を考える際には、真っ先に、身体が置かれる環境の力学特性と移動様式、さらには脳を介しての制御系を考慮に入れる必要がある。人間の身体の移動の形の多くは、神経筋の連携から抽出されると考えられ、実際千個にもなる骨格筋のデータの入力と骨との連携で生み出される動きのシミュレーションから[中村仁彦等]、約 120 種類の運動が解剖学的に獲得してきたものとして計算された。これらのこの反射回路をどのように組み合わせると安定した動作が生まれるかを一つの解法とし、他方では実際に人間文化が育んできた身体技法にみられる共通操作を対合させて解析することで、一つの統合体としての人間の動きがひきだされる。

(8) 武術時の脳の役割と統御部位

身体を部分にきりわけずに一つの連綿とつながった塊としてとらえ制御するための作法は、実際武術のような身心連携が必然的に要求される身心操作場面で発案され長年継承されてきた。我々はこのときの脳の制御がどのようになされているかについては脳イメージング機能評価系を用いて、動きの制限はあるものの可視化を試みる。実際、予備的に行った fMRI や NIRS を用いた実験系で、通常運動をうみだす運動野とは異なる領域: 補足運動野の活動が検出された。つまり構えがまず身心連携操作の実体である。前述したが、宇宙における体操の身体中心は、従来武術や身体技法で最も重要視されていた「丹田」と呼ばれている身体重心とほぼ一致した。上記中心意識対象部位は、太極拳の経験者では身体重心である「丹田」である。身体の部分を解析的に評価するのではなく、統合体としての制御系を仮定し、無重力空間においてこの体幹制御系を再現することで、人間の身心問題の一部への解答を見いだせることが期待される。

(9) 力学的ホメオスタシスの最小単位としてのサルコメア

これらを細胞の化学反応のホメオスタシス範囲の設定に対して、身体の「力学的なホメオスタシス」という概念を提唱したい。人間の動作を生み出す張力発揮単位は、横紋筋のサルコメアであるが、この動的特性については、別ワーキンググループでの提案とするが、素因子が動的に構成されていることについても無重力環境における実験が有効な回答を提出すると考えられる。さらに人間の身体制御はこれらの生体材料形及びその動的素因子からなる横紋筋の反射ではない持続的な活動を必要とす

る重力場におけるゆっくりとした動作で身心制御問題が顕れるものと考えられる。水中で誕生し獲得してきた種々の反射動作系を、地上で応用展開するために、身体の大きさにも依存するが、恒温動物として持続的な活動を進化させた四足動物に至る移動方式の進化軸があり、それらが上記提案した力学的ホメオスタシスへの時間軸の影響に強く影響されることは、抗重力筋の特性からも推察ができることである。

(10) 立位の力学的ホメオスタシスとこころのホメオスタシス

ヒトは四足歩行から二足歩行への道を歩む中で人間へ進化したと考えられる。実際、持久走とヒトへの進化 (Bramble DM & Lieberman DE; Endurance running and Evolution of Homo, Nature 2004) というレビューが説明する背景は、二足歩行の人間だから他の四足動物よりもより効率的な走運動を獲得し、それがさらに温熱発汗システムへの進化をうみ、呼吸器系を熱放散組織から解放し、ヒトへの進化を促進させたという動物としてのヒトと人間との微妙でしかしあきらかに位相の異なる世界へと人間を跳躍させた立位と二足歩行に耐えて獲得した機能の飛翔こそが人間進化の核心であることを推定させる。四足歩行と二足歩行を比較するとその安定性の差は比較するまでもない大きな差がある。不安定な体勢を制御しなければならない必然性が人間どうしの依頼心をはぐくみ、こころの協調性を生み出したのかもしれない。実際に身体を適切に動かすことでホルモンやサイトカインあるいは脳内アミンが調整されこころをつくる脳の細胞が死に至らず健康に生存することができる。こころが維持されるホメオスタシス条件 [Fig. 3] があり、それには人間がもつ情動や意志、様々な活動が必須である。や人間への進化軸と現代における身心問題を簡単に説明することは難しいが、本ワーキンググループは、具体的に身心問題を抱えている現場からの治療方法や治療法の問題点、身心問題課題を正面から受け止め、大いなる仮説のもとにきわめて実施の難しい宇宙研究課題の枠組みへ結果

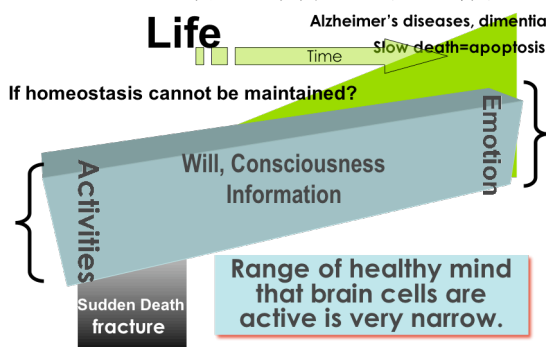


Fig. 3 Homeostasis of Mind - Survival conditions of cells and native proteins: Our body is the place for cell to live.

を還元できる人々を考えて提案するものである。これらの人間を構成する生命科学的要因及び人間に至る移動制御の進化軸をも考慮した重力場における人間の身心問題の解法を得る手段として宇宙環境利用はきわめて有効であるとする。まずは飛行機を利用した実験も試

みたい。

2. 研究の背景とパラボリックフライト実験の提案

地球上生命は、重力場で構築進化してきており、ヒトでは左右がほぼ対称でバランスがとれた運動形態を進化学習してきた。ヒトは他の四足動物に比べて不安定であるため、かえって他の陸上動物ではできない学習による回転なども学習する。しかし近年科学技術の発達により長寿命の高齢化社会に突入したものの、不活動などにより転倒などが大きな問題となっている。前庭覚だけではなくヒトは視覚と触覚、体性感覚をも含めて感覚・運動の入出力の制御が、後生的な学習により可能となる。しかし身体の重心制御に関する東洋的なメソッドはあるが、そのような心身がともにかかわる制御機構については研究が遅れている。身体動作をつくる反射的な運動が無重力環境でも重力下とおなじように起こるかどうかが、一つの例として膝蓋腱反射刺激への応答を取得するとともに、重力環境の変化に伴う変化や学習による変化を追跡する。これらの自動制御的な調節と意識による調節を比較することで、地上における身体制御の教育プログラムを提起することが可能となる。それと同時に、宇宙における姿勢の外部からの補正/サポートにより宇宙空間における身心の制御問題に対してもウェアなどの工夫により適切なサポート体制を提起できる可能性がある。

(1) 方法(実験装置等)

パラボリックフライト時の重力レベルの変化に対する応答
ヒトの姿勢制御: 中心意識(可能であれば簡易型NIRS及び腹筋筋電図: 太極拳の無極式立位では前頭葉の活性化がみられる: 追試要)、心拍数/呼吸揺らぎ解析、写真撮影、床反力測定装置あるいは関節角度評価のゴニオメーターなどの装着変化を解析する。

(2) 研究の今日的意義

上述したように宇宙空間における長期滞在は、地上における不活動モデルあるいは加齢モデルと共通するところがあるが、それだけではなく、ヒトを含む地球生物の重力によるシステム形成機序の解明に貢献する。パラボリックフライトによって得られる加重・減重状態における生命の自律制御単位である細胞及びヒト個体の形態やダイナミクスを観察することにより、これらが重力によりどのように支配されているかを知る。このことは、地球生命体の基本原理を明らかにすることにつながる。ほ乳類のような柔らかくしなやかな身体の構造や動き・ダイナミクス自体が、重力場で構築されたものであることが証明できれば、その細胞による調節機構と人間による学習努力による調節機構は、地球上における健康維持にはきわめて重力が重要であることを示すものとなる。現在、「重力」が日常生活や健康の場において適切に認識されていないことで、生命適応の本質が見えないのは良くない。宇宙実験を実際に行えるチャンスは少ないが、「重力」生物学あるいは重力生命科学・重力健康科学はきわめて重要な分野である。