

## 日本人宇宙飛行士の無重力空間における 視覚・行動の再統合過程

古賀 一男

名古屋大学 環境医学研究所 宇宙医学実験センター  
〒464-01 名古屋市千種区不老町

ヒトの行動を生理学的／視覚行動学的に考察する時、ひとつの特異な環境としての低重力環境＝宇宙空間が研究のプラットフォームとして極めて有効であることは先の本誌で述べた。ここで重要なことは、我々が通常記述する〈行動が...〉とか、〈この時の被験体の内分泌の変化は...〉とか、あるいは〈ここで見られた細胞の変化は...〉等という表現は、これらの全てに共通な実験条件として、〈1 G重力下における〉という認識が抜け落ちていることになりはしまいか。昨年の発言の繰り返しになるが、「我々が重力環境下で50数万年生存してきたということは、既に我々の身体そのものが重力に適応して発達・進化してきたに違いない、そして現在の我々の行動や生体反応が〈意識する／しない〉にかかわらず重力環境のもとで調和的に機能している」という視点こそが重要なのである。多くの生物は外界に適応的に反応するわけだから、例えばそれを脊椎動物を例にとるなら、その外形や、筋骨格系や、神経系や、知覚・感覚系や、行動や、そういったもろもろの形態や機能させる中枢・末梢の作動機構が重力に抗して、あるいは重力を利用してひとつの行動体系を形成しているのとらえることができる。すなわち重力という断面で生体の行動を再検討してみることもできるわけである。背中に過重がかかる時、それは生体にとって苛酷な経験としてとらえられるのが普通である。しかしもし重力が無ければ、過重はかからないかもしれないが、常に浮遊する自分の身体の制御に対

してもっと大きな制御過重がかかることになるにちがいない。

水槽の中の金魚（3次元的行動の自由度をもつ生物は、魚類、両性類の一部、鳥類、一部の昆虫等があるが、特に金魚は中層魚である）を観察してみると、常に全身の鰭を微妙に動かして身体の前後、左右、上下の移動の調節を行なっている。気楽に流れに身をまかせて暮しているわけではないのである。一方、地上2次元平面内を這い回って暮している我々ヒトや、それに類似した行動をおこなう生物は、動物におおむね固有である“移動”という行動の制御が、水中／中層に棲息する金魚とかなり異なっているといえる。少なくとも、ヒトは覚醒時には自分の身体を重力に抗して姿勢を保持しなければならないが、その為に抗重力筋は常に〈筋〉活動を余儀なくされている。例えば肩の後側にある大きな抗重力筋である僧帽筋は相当の重量がある頭部をしっかりと重力に抗して支えている筋である。この筋の持続的なトーンスが失われると重力の作用によって首は前か後にがっかりと垂れ下がってしまうのである。お母さんの背中でグッスリ眠っている赤ちゃんの首が首が折れるのではないかと思うほど後に垂れていることや、授業中退屈な講義に居眠をしている学生の頭部がユラユラと揺れているのはこのような事情を示す良い例であろう。そう言えば、子供の首が座ってきた時からその子が妙に人間らしく見えてくるのは、我々の認識の中にヒトが覚醒している時の姿勢は〈首がちゃんと座っ

ている姿>というのが暗黙のうちにあるのかもしれないのである。

いずれにしても我々が重力環境下に棲息する限り抗重力筋の存在は意識されないまでに重要な働きをしているといえなくもないであろう。ところで感覚や知覚機能はそれ自身の宿主たる有機体の特殊的なく中枢/末端>のふるまい<に/から>影響<する/される>ことはいうまでもない。つまり、相互的に緊密な関係にある中枢のプログラムと周辺の効果器の関係は常に<1 G>環境下で最大効率を持つようにチューニングされてきたと考えることができる。このように考えるなら、低重力環境=無重力環境=スペースシャトル等を使用した宇宙実験は、<重力の影響を検討する為の壮大な実験場>と理解することもあながち当たっていないことのないといえるのではないだろうか。今回我々が企図したスペースシャトルを利用して行った実験は、重力を変数にして行動と感覚・知覚の関連性を探ることでヒトの調和的行動とは何か、あるいはヒトにとって重力はどのように寄与しているのかということに迫るその最初のころみであったと自分では位置付けている。

ではそのような特殊な環境における視覚的認知行動や、作業時の眼と手の協応動作、あるいは眼と頭部・頸部の協応運動などは、重力環境下のそれとはどのように微妙に相違するものがあるのだろうか。<宇宙酔い>と呼ばれる一過性の生体の異常は我々に多くのことを語りかけてくれる。宇宙酔いは、Space Motion Sickness、あるいはSpace Adaptation Syndrome (SAS)と呼ばれ、いずれの場合にもspaceという言葉を被せることで重力の変動に起因した乗物酔いの一種であることを示している。宇宙酔いという現象は地上の乗物酔いと類似した症状、例えば、頭痛、顔面蒼白、冷や汗、吐気、嘔吐、等を伴うことはよく言われるが、両者の成立機序には大きな相違があると考えられている。宇宙酔いの成立機序を説明する有力な仮説のひとつである<感覚不一致>説では、視覚/前庭/体性感

覚/等の各種入力情報が地上では整合性を持って処理されているのに、低重力環境下ではそれらのうちの前庭性入力が欠落するために感覚入力の一不一致がおり、その結果地上の乗物酔いと似た症状が起こると考えられている。宇宙滞在の最初に始り数日間継続する過程は中枢での調整期間(順応)であると考えられている。

一方、重力が無くなることによって派生する身体内部での様相は宇宙酔いに関して更に新しい考え方を呈示してくれる。我々が地上で直立している時、我々の身体内部の体液(血液)は下へ、下へと引っ張られているのである。一定の決った量の血液の幾分かがある部分に偏在すれば、当然他の部分では血液の不足がおこるはずである。つまり、下肢に引っ張られた血液はどこからやってきたかと言えば、それは上半身からやってきたに違いないのである。そしてその多くは日ごろ多量の血液を必用とする頭部からやってきたに違いないのである。もしヒトが、そして多くの脊椎動物がただの血の詰った袋にすぎないなら、この状態は重大な問題を引き起こすに違いないのである。即ち直立することで頭部の貧血を惹起し、それはすみやかに失神を起こすに違いないのである。しかしヒトは少々の時間直立したとしても易々と貧血を起こすものではない。それは重力に抗して直立する下肢の抗重力筋がポンプ(筋ポンプ)となって下肢に貯留した血液を上半身に環流させているからである。また心循環系はより多くの血液を上半身へ、特に頭部に送出するように地上では働いている(プログラムされている)のである。長時間直立した結果脳貧血を起こして倒れたり、急に立上がると<ふっと>気が遠くなることがあるのはこのようなシステムの一時的破綻によるところが大である。このように重力に依存して特殊的に作用する循環系が低重力環境に晒された時には何が起こるのであるか。重力が無くなることで下肢へ行くべき血液の行場が無くなり、そして上半身へと貯留するという不適応がおこるのである。エンデバー号での毛利さんの顔がバンバンにむくんでいたのがこの

状況である。このように常とは異なる体液の再配分が全身的に行なわれた結果、最初に心循環系の変化が血圧調節を中心として起こり、内分泌系の変化が生じ、細胞内外の体液のバランスが変化し、そして最後には自律神経系が調節限界を越え、最終的には嘔吐等の障害を引き起こすのである。この身体症状は知覚や感覚の異常とはやや遠い位置にあるものと考えられるが、重力がヒトにとって如何に重要な役割を担っているかを理解するには格好のメカニズムであろう。

われわれが提唱した<宇宙空間における視覚安定性の研究>は、ここに述べたような重力のヒトに対する重要な役割を理解する為のひとつの実験であった。このテーマは奈良良二教授（現愛知学院大学教授）が名古屋大学・環境医学研究所に在職中に第一次材料実験（FMPT）の一テーマとして提案をおこなった実験である。そしてあの不幸な事故によって計画は大幅に延期されたとはいえ1992年9月にその実行がなされたのである。

なぜ心理学の、それも視知覚研究というどちらかといえば生理学や神経科学の影響が大きい立場から宇宙実験にプロポーザルをおこなったのかということについてその背景をもう少し特殊的に詳しく述べておく必用もあるだろう。我々は重力空間を大前提として生活を営んでいるが、地球の重力それ自身を自覚することはあまりない。しかしエレベーターの中や、飛行機の離着陸時に、重力やその他の加速度の存在や変化に気付くことがある。暗闇のなかでステップから足を踏み外したりした時には何か言うに言われない原初的な恐怖感に近い感覚を自覚することができる。これらはヒトの日常生活においてふだん意識上にのほらない耳石器官や三半器官の入出力に直接大きな変化が起こった時の状態で、感覚器官が直接発する警告信号のようにも思われる。ヒトはこれら直接的に重力をセンスする前庭感覚から以外にも間接的に重力を知覚することもできる。たとえば、プールから這い上がるときは、前腕の筋の緊張や手掌の皮膚

感覚によって重力の存在を知覚できる。ベッド上に仰臥させておいて身体を傾けると、下側になった体表面にかかる圧を体性感覚によって自分の身体の傾きとして知覚することもできる。間接的ではあるが、目から得られる視覚情報によってさえ重力の存在とか方向を知ることができる。ヒトの頭上には空や雲があり、足元には確かな地面や床があることを目で見てよく知っている。直立すれば目の前に重力に抗して立つ壁や柱の存在、抗重力性によって立つ木々、流れ落ちる水、立ち上る煙、落下するボール、これら全て重力に逆らったり、重力の捕囚となった自然現象、人工構築物等から自分自身の外側にリファランスとなるべき基準系を視覚情報として持っていることになる。視知覚はいちばん間接的な重力の情報入力感覚器官でありながら、その圧倒的な情報量の多さはヒトの生活基盤の極めて重要な部分を占めている事から考えると、視覚から受ける重力情報量はむしろ最大であると言って良いのかもしれない。

視知覚には「恒常性」という極めて合目的な機能が備っており、我々の視覚世界をいっそう複雑なものにしていることも事実である。ヒトが前方に自分自身で歩く時、微妙な上下動を伴う外界の変化が前から後に向かうベクトルの流れとして網膜に結像され時々刻々変化する。この時、動いているのは自分であって、外界は安定的であることをヒトは暗黙のうちに認識している。足の裏からは体性感覚による圧入力交互に、両足の抗重力筋からの入力と関節の屈曲による深部感覚も、そして重たい頭を支える僧帽筋も重力に拮抗して働く、と言った具合に各種の異なった感覚情報が入力されてくる。これらはヒトが直立歩行をする時必ず入力として働き、そして学習され、半自動的に行動に移され、外界のリファランスのなかで自分自身の定位を正確に行ない得る機能として定着されてきた。しかしこれら異種感覚間入力の統合された認識は常に合目的に働くばかりとは限らないことは前に述べた通りである。例えば、十分に学習された機能は単一の感覚器官からの入力、

たとえば視覚性入力だけによって自動的に動き出すプログラムがいくつかあるように思われる。地上でもそのような例は枚挙にいとまがなく、例えば誘導運動と呼ばれる視覚情報によって勝手に走り出す複合的感覚錯誤はその典型的な例であるといえる。また、ヒトは非日常的な場面で、各種感覚情報間の微妙なくいちがいをもちえらえることも事実である。

かつて宇宙船内の狭隘なキャビン空間にクルーを押し込めて身体の自由もままならなかった時代には、「宇宙酔い」といわれる現象などはほとんどおこらなかったと言われている。しかしアポロで月に飛行する時代になり、彼らの生活空間が狭隘なキャビンから開放され、重力のない空間で3次的に自由度を増した時、突然のように「宇宙酔い」といわれる一過性の症状が出現するようになったと言われている。我々のプロポーザルのねらいは、先に述べたように、ヒトは重力依存の身体制御がどの様に低重力空間で作動し始めるのかにあった。例えば地上では物体が落下していく方向がいわゆる下であり、それは自分の足の見えている方向とほぼ一致する。また天井のある方向がいわゆる上でそれが頭のある方向とほぼ一致することも同様である。つまり自分自身の身体の上下軸 (egocentric axis) と、外界の上下軸 (gravity dependent axis) とが地上で共存するかぎり、そして特別のことがないかぎり一致している。そして重力の働く方向は耳石器官で常に正確にモニターされていて身体の姿勢制御を自動的におこなっている。ここでいう特別の場合とは、人為的あるいは光学的に網膜像を反転 (鏡映像) あるいは逆転 (180°前額平行面内で軸をいれかえる) した時を指しているが、このことは非常に重要な多くの問題を含んでおり、将来宇宙実験のテーマとなりうるものと思われる。

地上では浮力をうけて3次的な自由度が生じた水中での行動は低重力空間と酷似しているように思われるかもしれない。しかしこの両者はヒトの行動を外側から見るかぎり一見類似しているが、後者では依然として耳石器官に入力

があり、上下の判断基準が皆無であるとはいえないという点で大きく異なっている。視覚という観点からみると、宇宙空間では自己中心の垂直軸だけが旧来の (重力があった時の) 上下関係を規定しているが、外界のリファランスとしての上下関係は存在し得ない。シャトルの船内に地上の名残を留めた種々の機器や居住環境のレイアウトが視覚的上下関係を残存させているが、身体の3次的行動の自由度は充分でありどのような位置関係もとれるわけである。しかしこれは物理的リファランスと自己中心的上下関係の相対的位置関係の自由度を増すことになり、その結果どこに基準をおいて上下関係を決定したら良いのか、ヒトの認識を苦しめることになると考えられる。事実、シャトル内の宇宙飛行士は自己の注意を向けた対象が自分自身に対して倒立の関係にある時、自分は倒立していると認識し、正立の関係をとった時自分も正立したと認識した、つまり上下に関する認識は随時変化するという報告がある。耳石器官への入力が無くなったということだけを考えても、その履歴効果がかなり残存していることも問題を複雑にしている。また地上ではどのような姿勢をとっても必ず身体のどこかの体性感覚から一定の圧感覚の入力があったにもかかわらずそれがほとんどない、あるいは無秩序にあるということは感覚間の混乱にいつそう拍車をかけることになると思われる。地上でプリプログラムされた行動の規範や感覚の統合的なハーモニーは一旦崩壊したと考えるべきかもしれない。そして新たな宇宙用のプログラムが再編成される過程に体液シフトの結果ともあいまって自律神経系の反応が生じ、そして宇宙酔いが起こる、という時間の経過を考えることができる。このような中で1人の搭乗科学者である毛利衛さんがどのような挙動を示したかを宇宙船エンデバー号で得られたデータを分析することで明らかにしてみたいと考えている。

なお、詳細については以下の文献<sup>10)</sup>を参照していただきたい。

## 文 献

- 1) 古賀一男, 間野忠明: 眼球運動が運動ベクトルの変化にあたえる影響. 環境医学研究所年報, 41, 283-285, 1990.
- 2) 古賀一男, 森 滋夫, 田中正文, 高林 彰, 渡邊 悟: パラボリックフライト中の眼球運動および頭部運動の計測法に関して. 環境医学研究所年報, 41, 47-50, 1990.
- 3) 河合学, 間野忠明, 古賀一男: 指標運動刺激時の身体動揺. 環境医学研究所年報, 41, 305-307, 1990.
- 4) K. Koga and R. Groner: Pursuit eye movement and object motion perception. Elsevier Science Pub. B.V., Amsterdam, 1990.
- 5) 古賀一男, 間野忠明: 眼球運動が運動ベクトルの変化にあたえる影響: 定量的分析. 環境医学研究所年報, 42, 238-240, 1991.
- 6) Y. Rossetti, 古賀一男, 須佐見憲史, 間野忠明: ウエッジ・プリズムによる順応事態における眼と手の運動協応. 環境医学研究所年報, 42, 241-245, 1991.
- 7) 古賀一男: 眼球運動が運動視に果たす重要な役割. 心理学評論, 34, 93-120, 1991.
- 8) 古賀一男, 間野忠明, 木田光郎, 辻敬一郎, 後藤倬夫, 岩瀬敏, 李阪良二: 宇宙空間における視覚安定性の研究: FMPT/L-04 地上統制データの取得手続きおよび on board 作業の概略. 環境医学研究所年報, 43, 69-73, 1992.
- 9) 古賀一男, 間野忠明, 木田光郎, 太田芳博, 辻敬一郎, 後藤倬夫, 李阪良二: 宇宙空間における視覚安定性の研究: 実験運用と運用に至る諸過程 (速報). 環境医学研究所年報, 44, 93-96, 1993.
- 10) 古賀一男: 眼球運動測定法. 李阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男 (編): 眼球運動の実験心理学. 名古屋大学出版会, 33-57, 1993.