

# イモリ・メダカの微小重力下での行動 その2

## 両生類における Motion Sickness の可能性 その1

井尻 憲一<sup>1)</sup>、江口 星雄<sup>2)</sup>、Wiederhold, M.L.<sup>3)</sup>、黒谷 明美<sup>4)</sup>、  
山下 雅道<sup>4)</sup>、Wassersug, R.J.<sup>5)</sup>、内藤 富夫<sup>6)</sup>、長岡 俊治<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup> 東京大学 アイソトープ総合センター、<sup>2)</sup> 東京大学 原子力研究総合センター、

<sup>3)</sup> Department of Otolaryngology, The University of Texas Health Science Center, USA

<sup>4)</sup> 宇宙科学研究所 宇宙基地利用研究センター、<sup>5)</sup> Department of Anatomy and Neurobiology,  
Dalhousie University, Canada、<sup>6)</sup> 島根大学 理学部、<sup>7)</sup> 宇宙開発事業団

## Behaviors of Newt and Medaka under Microgravity - Part 2 -

### Possibility of Motion Sickness in Amphibians -Part 1-

Kenichi Ijiri<sup>1)</sup>, Hoshio Eguchi<sup>2)</sup>, Michael L. Wiederhold<sup>3)</sup>, Akemi Izumi-Kurotani<sup>4)</sup>,  
Masamichi Yamashita<sup>4)</sup>, Richard J. Wassersug<sup>5)</sup>, Tomio Naitoh<sup>6)</sup> and Shunji Nagaoka<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup> Radioisotope Center, University of Tokyo, <sup>2)</sup> Research Center for Nuclear Science and Technology,  
University of Tokyo, <sup>3)</sup> Department of Otolaryngology, The University of Texas Health Science Center, USA

<sup>4)</sup> Space Utilization Research Center, Institute of Space and Astronautical Science, <sup>5)</sup> Department of Anatomy  
and Neurobiology, Dalhousie University, Canada, <sup>6)</sup> Department of Biology, Faculty of Sciences, Shimane  
University, <sup>7)</sup> National Space Development Agency of Japan

### ABSTRACT

Behaviors and postures of the fish medaka (*Oryzias latipes*) (adult) and the newt (*Cynops pyrrhogaster*) (adult and larvae) were observed under microgravity during the parabolic flight. Results and discussions were as follows.

**MEDAKA** : The experiments were done on the adult fish of five different inbred strains and one variety (orange-red, closed colony) of the species. Among all the inbred strains tested, three strains (HO5, HO4C, HB12A) showed looping (together with twisting) behavior under microgravity and light conditions. The strain HNI-II did not show any looping behavior at all. Most fish of the strain HB32C did not loop either, though some of them did. The variety showed no sign of looping either. Thus, there existed a clear strain-difference in the behavioral response of the fish under microgravity and light conditions. However, under microgravity and dark conditions, all the fish tested, i.e., all the fish of the five inbred strains and the variety did loop. At present, from these parabolic flight data, the best fish candidates for the space experiments are those of HNI-II strain. About 2 day-duration of light period will be introduced, starting just before the launch, in order to give the fish enough time (without looping) to adapt to microgravity conditions.

**NEWT** : An adult newt in water swam with gentle rolling and twisting. Several developmental

stages of larvae were flown. Later-stage (54-57) larvae tend to respond both at the onset and during periods of microgravity with vigorous upward or sideways swimming. Responses to hypergravity are not frequent or vigorous. Approximately 1/3 of early-stage larvae (42-48) respond to the onset of microgravity with upward swimming. These responses are more vigorous and long-lasting in light than in dark. Vigorous responses to hypergravity, either before or after microgravity, were seen in both light and dark. In dark, the most common response was to either freeze throughout the period of microgravity or to make a short movement, either upward or sideways, and then to freeze. The observations made during these parabolic flights suggest that the differences in behavior might be related to the development of the semicircular canals. Further anatomical studies currently in progress will give us more information concerning when the semicircular canals are sufficiently developed that they could give useful information on angular acceleration. It will be of great interest to determine if this developmental sequence could explain our observations.

Several species of amphibians (*Hynobius*, *Cynopus pyrrhogaster*, *Rana rugosa*, *Rana nigromaculata*, *Xenopus*, *Hyla japonica*, *Rhacophorus schlegelii*) were exposed to the parabolic flight to test the possibility of getting motion sickness in amphibians. Japanese tree frogs (*Hyla japonica*) were flown to the space station MIR and spent eight days in orbit during December, 1990. On the MIR, frogs on a surface often bent their neck backward and walked backwards. This behavior was observed on present parabolic flights and resembles the retching behavior of sick frogs on land—a possible indicator of motion sickness. These results indicate that frogs can get motion sickness and suggest that the unusual posture of the frogs on the MIR may have represented motion sickness.

## 1. 緒言

初期発生の過程において1Gという重力がどのような役割を果たしているのかを知る1つの方法として、微小重力下での発生・生殖を研究するため、宇宙環境を利用した実験が計画されている。イモリの宇宙における産卵、受精卵の発生、およびメダカの宇宙における交尾、産卵行動、受精卵の発生の観察は、1994年実施予定のIML-2、SFUに搭載予定の宇宙実験の1つである<sup>1)2)3)</sup>。これらの実験計画を進める上で、実験試料となるイモリ成体、イモリ胚、イモリ幼生、メダカ胚、メダカ成魚、メダカ稚魚の行動や姿勢制御について地上1Gではもちろんのこと、地上で得られる微小重力下での予備実験を行うことが必要である。本実験では、メダカ成魚およびイモリ幼生、イモリ成体の平静時（産卵時や交尾時などでないとき）の行動、姿勢制御に微小重力がどのように影響するかについて調べることを目的とした。特に、メダカにおいては、宇宙実験の際の生物試料の選択の参考とするために、系統による微小重力の効果の違いについて注目した。また、イモリでは発生段階の異なる幼生を用いて重力感知が、発生の過程でどのように変化していくのかを検討した。

1990年に旧ソ連のミールで行われたニホンアマガエルの行動の実験により、微小重力下でカエルが特徴的な姿勢をとることが示された<sup>4)</sup>。この姿勢は背を大きく反らせ、腹をとまっているものの表面に押し付け、後肢を完全に畳まないというもので、この姿勢では後退する。この姿勢は薬品を用いてカエルに嘔吐やRetching behaviorを起こさせたりしたときに一時的にあらわれる姿勢によく似ている<sup>5)</sup>ことから、ミールの微小重力下で嘔吐やRetching behaviorを起こすような状態にあった—Motion sicknessになっていた—可能性がある。カエル、イモリを含む両生類はそもそもMotion sicknessを起こし得るのかどうかについてパラボリックフライトを使って調べることを第2の目的とした。

## 2. 実験方法 (装置)

### 2. 1 観察系

(1) 3次元水槽での観察：2種類のサイズ（中型水槽： $167^W \times 87^D \times 156^H$  mm, 容量2267 ml、小型水槽： $70^W \times 70^D \times 90^H$  mm, 容量441 ml）の3次元水槽に水を満たし、水槽中の水棲生物試料（イモリ幼生、イモリ成体、メダカ成体、アフリカツメガエル幼体）の正面像、側面像を同時に観察・記録した。蛍光灯およびハロゲンランプによる明条件下、および赤外光による暗条件下で記録した。明条件ではハンディタイプのHi 8 mmビデオカメラレコーダー、暗条件では赤外光用に改造したCCDカメラおよびその画像記録用にHi 8 mmビデオレコーダーを用いた。

(2) 大型コンテナでの観察：アフリカツメガエル以外のカエルおよびイモリ成体は、水を入れない（ただし、コンテナの壁は水で濡らした）コンテナ（容量2100 ml）中で観察された。光の条件は機内のそれと同じである。記録は搭乗実験者により、ハンディタイプのHi 8 mmビデオカメラレコーダーで行った。

### 2. 2 取得データ

実験中には以下のデータを取得した。

- (1) 画像データ (Hi 8 mmビデオテープおよび目視)
  - (2) 実験ラックG値 (音声記録トラックにモデム信号を記録)
  - (3) 実験ラック振動データ
  - (4) キャビン気温・キャビン湿度・キャビン気圧・キャビン3軸G値
- 次ページに実験装置の図を示す。

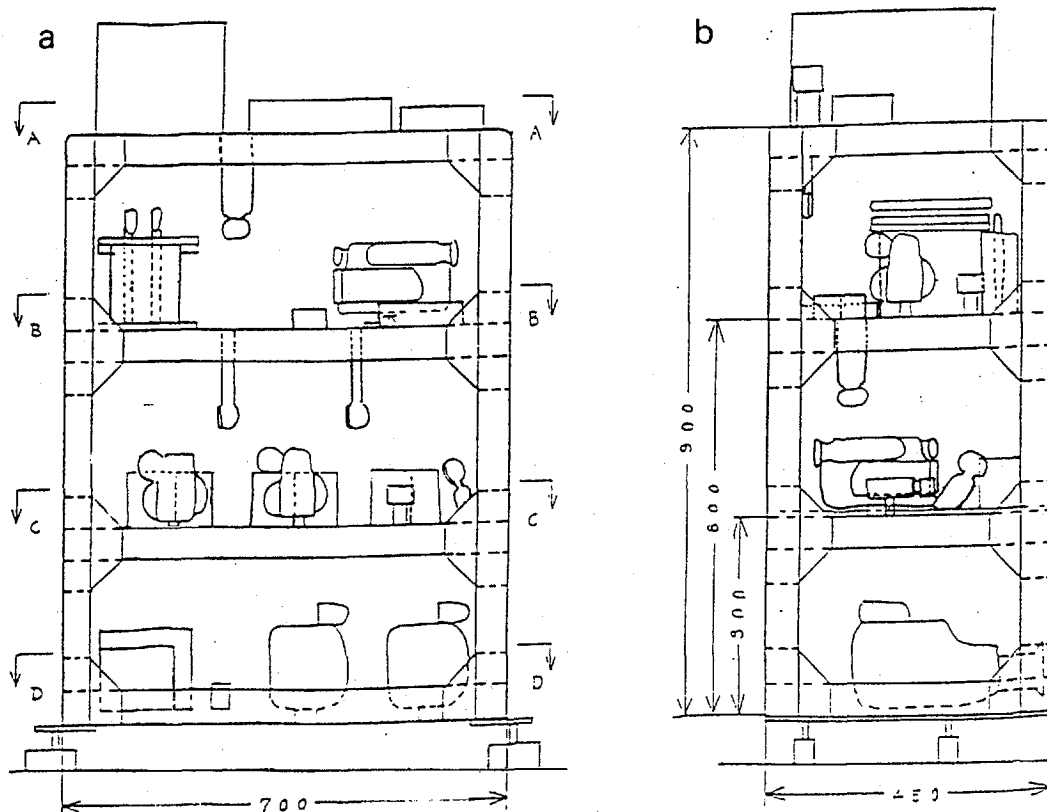


図2-1 航空機搭載用ラックに組み込まれた実験装置の図

a. 正面図 b. 側面図

Fig.2-1 Integrated Experiment Rack a. Front, b. Side views

### 3. イモリの実験

#### 3.1 目的

IML-2やSFUにおける宇宙実験での予備実験として、イモリ成体、2グループの発生段階の異なる (Stage 42-44, Stage 56-57、図3-1 イモリ発生段階表参照) イモリ幼生のパラボリックフライト中の姿勢制御、行動を観察、記録した。特に行動に対する微小重力の影響が発生段階によってどのように変化していくのかを調べる。

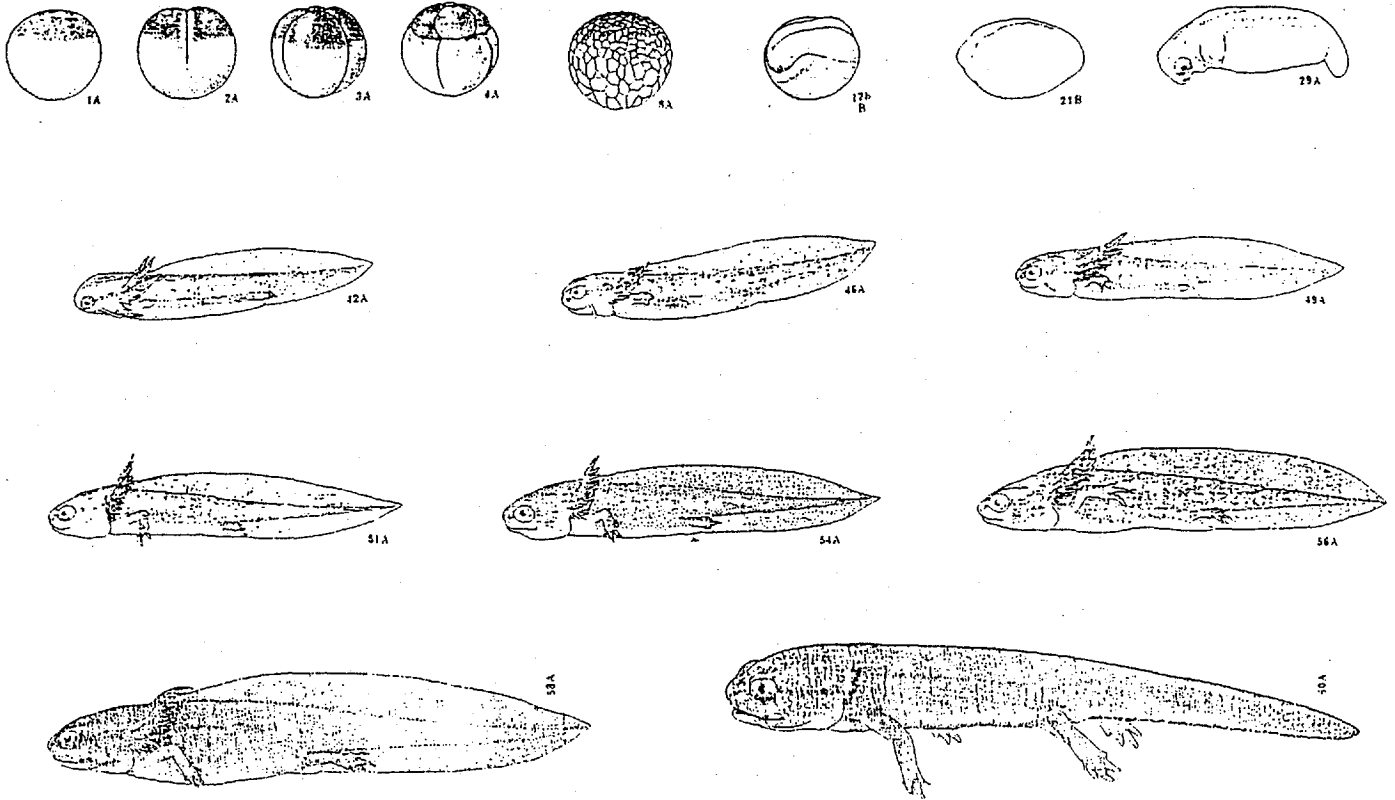


図3-1 イモリ発生段階表 (文献より)

Fig. 3-1 Developmental Stages of Newt *Cynops pyrrhogaster*

#### 3.2 方法

(1)実験試料：アカハライモリ (*Cynops pyrrhogaster*)成体雌、幼生 (Stage 42-44, Stage 56-57)

(2)イモリ成体の行動の記録

イモリ成体1匹を水を満たした中型水槽に入れて、その水槽内でのイモリの行動をエントリー時の過重力下 (2 G あるいは1.3 G)、微小重力下、リカバリー時の過重力下 (2 G)、1 G 下 (通常飛行時) でHi 8 mm ビデオカメラによって記録した。試料の行動記録は水槽の前面と側面から行い、3次元的な運動状態を捉えられるようにした。明条件、あるいは暗条件で記録を行った。

(3)イモリ幼生の行動の記録

イモリ幼生を水を満たした小型水槽に入れて、その水槽内での行動をエントリー時

の過重力下(2 G あるいは1.3 G)、微小重力下、リカバリー時の過重力下(2 G)、1 G 下(通常飛行時)でHi 8 mm ビデオカメラによって記録した。試料の行動記録は水槽の前面と側面から行い、3 次元的な運動状態を捉えられるようにした。明条件、あるいは暗条件で記録を行った。

### 3. 3 結果および考察

#### (1) イモリ成体の水中での行動

微小重力前後の過重力(～2 G)下では多くのイモリは水槽床面に留まっていた。微小重力に移行すると、ゆっくりとした回転、うねりを示しながら、水中を漂った。このとき、四肢は広げていることが多い。積極的に泳ぐことは非常に少なかったが、遊泳して推進しようとする場合には、1 G 下水中で見られるように、四肢を体側に沿わせ、身体をうねることによって進んだ。

これらの行動は、パラボラの回数が進んでもほとんど変化はなかった。また、照明光の方向の切り替えおよび暗条件、明条件のちがいによっても変化はなかった。

#### (2) イモリ幼生の行動

##### Stage 42-44 (孵化から約1週間後)の幼生の行動

Stage 42-44 の幼生はStage 54-57 の幼生よりも微小重力に反応した行動をあまり示さなかった。明条件で Stage 42-44 幼生の約30% (29—33%) が微小重力の間なんらかの動きを見せた。この動きは微小重力に入ったときに起こす短い上向きの遊泳行動または横向きの遊泳行動、および約20秒間の微小重力の間に示す横向きの遊泳行動であった。このような微小重力に対する反応行動は1日に6—10回のパラボラを繰り返すうちに、あまり顕著でなくなってきた。このことは微小重力環境に対する適応があることを示している。また、この Stage の幼生の多くは微小重力の後に続く過重力(～2 G)に顕著に反応した。

暗条件では、この Stage の幼生は9—42%くらいが微小重力で反応したが、反応している時間は明条件よりも短かかった。典型的な反応の仕方は短い(通常体長より短い)距離だけ動き、その後水中の1点で止まっているというものであった。

##### Stage 54-57 の幼生の行動

微小重力に入ったときおよび微小重力の間、約50%の幼生が上向きまたは横向きに遊泳した。また遊泳する幼生の割合は、明条件、暗条件で変らなかった。なかには微小重力に反応して遊泳した後、数秒間その場に止まっている幼生も見られた。微小重力のあとの過重力に対する反応の観察された幼生はStage 42-44 の幼生よりも少なかった。

図3-2に反応行動についてのまとめを示した。

このように発生段階によって微小重力に対する反応行動が変化してくることが示された。一般に重力や直線加速度を感知する器官である内耳の発生は角速度を感知する半器官よりも発生が早い。イモリでは内耳は Stage 32 で現れはじめ、半器官は Stage 40 で初めて観察される。本実験で観察された Stage による微小重力に対する反応行動の違いは半器官の発生状態の差によるものと示唆される。

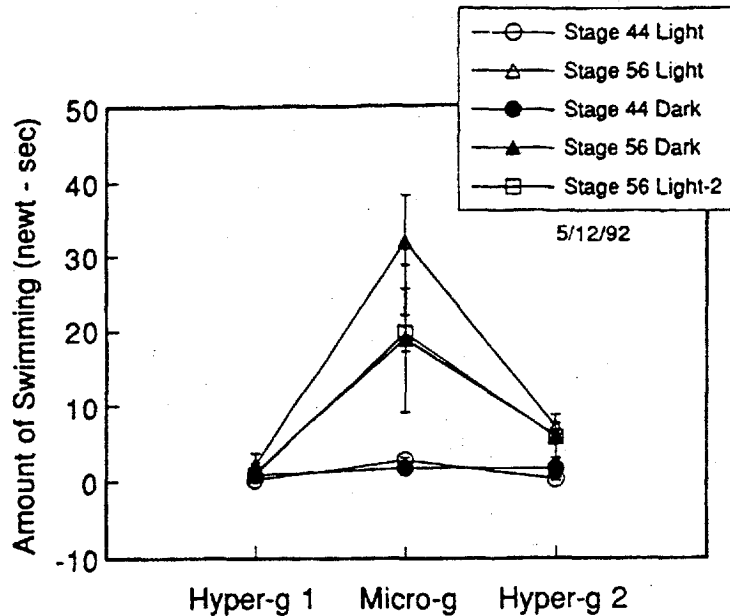


図3-2 パラボリックフライト中のイモリ幼生の行動<sup>8)</sup>

○ : Stage 44 明条件、△ : Stage 56 明条件、  
 ● : Stage 44 暗条件、▲ : Stage 56 暗条件、□ : Stage 56 明条件2回目  
 遊泳量の単位とした1イモリ-秒は1匹の幼生が1秒間遊泳することを表している。

Fig. 3-2 Plot of total swimming of 5 groups of larvae, separated by developmental stage and light condition. One "newt-sec" represents one larva swimming for one second. For each animal, the total swimming was measured for each gravity condition<sup>8)</sup>.

#### 4. メダカの実験

##### 4. 1 目的

IML-2では微小重力下でのメダカの挙動および産卵行動を調べる予定である。このための予備実験として航空機による微小重力実験を行い、IML-2での宇宙実験に搭載するメダカの種類を決定する。

##### 4. 2 方法

(1)実験試料：ヒメダカ (*Oryzias latipes*) の純系5系統 (HO5, HO4C, HB12A, HB32C, HNI-II) および雑系(variety)の成魚。1つの水槽には1系統のメダカ4~10匹を入れて挙動の観察を行った。

(2)小型水槽内でのメダカの行動の記録

小型水槽内にメダカを入れ、その水槽内でのメダカの行動をエントリー時の過重力下 (2Gあるいは1.3G)、微小重力下、リカバリー時の過重力下 (2G)、1G下 (通常飛行時) でHi 8mmビデオカメラによって記録した。記録は水槽の前面と側面から行い、3次元的な運動状態を捉えられるようにし、明条件あるいは暗条件で行った。

#### 4. 3 結果および考察

ビデオテープを再生し、微小重力下でのメダカの挙動を調べた。図4-3は明条件における、純系HO5メダカ1匹の1回目の放物線飛行時の動きを数量化したものである。テレビ画面上でビデオテープをコマ送りで動かし、メダカの頭の先端部（つまり口の先端）の軌跡をなぞり、1秒ごとの移動距離を距離計で測定した。ただし、今回は3次元的な移動ではなく、平面での移動として扱った。さらに、テレビ画面での距離から実際の水槽内での距離への変換を行ったデータが図4-3である。縦軸はこのようにして求めた1秒当りの移動距離、つまり移動速度 (cm/sec) であり、横軸は時間 (sec) で微小重力になった瞬間を0と表示してある。

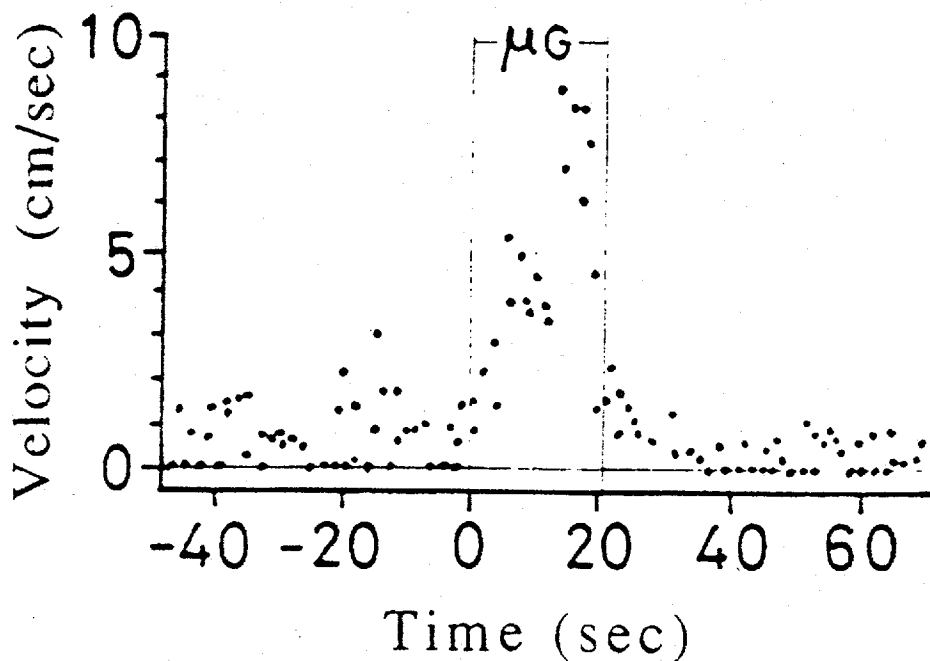


図4-1 パラボリックフライト中のHO5系統メダカの遊泳速度<sup>9)</sup>  
時間0秒は微小重力に入った瞬間である。

Fig.4-1 Velocity (cm/sec) of a fish of HO5 strain around the parabolic flight. Time 0 designates the entrance to microgravity level<sup>9)</sup>.

微小重力状態になるなりHO5メダカの移動速度は急に増加し、微小重力の続く間は盛んな移動を行い、1Gレベルへの復帰とともに元のゆっくりとした速度に戻る。微小重力下ではHO5メダカはすべて回転 (looping) 運動をし、図4-1に示した移動速度の増加はこのような回転と同時に起こっている。詳細な観察から回転中のメダカには、ひねり (twisting) も生じていることが判った。同一飛行中の残り9回の放物線飛行においても、HO5メダカは同様な回転運動を示した。

図4-2 aは HO5メダカの明条件・微小重力下での回転運動の様子である。白矢印のメダカの1.8秒間における動きが写真1~20に示されている。図4-2 bはこの間の魚の位置を重ね合わせたもの、図4-2 cは移動方向である。約20秒間の微小重力状態において、このような回転を何回も繰り返す。

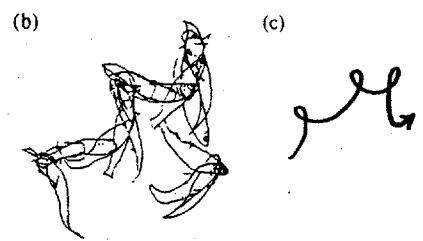


図4-2 明条件、微小重力下でのHO5系統メダカの行動。メダカの行動のトレース、(a)No.1から20までは1.8秒、(b)この間のメダカの位置、(c)この間のメダカの方<sup>9)</sup>

Fig.4-2 Looping and twisting behavior of an inbred strain medaka HO5 under microgravity and light conditions. Movement of a fish (shown by a white arrow) is traced; (a) Time elapsed from No.1 to 20 is 1.8sec, (b)Fish positions, and (c)Direction of the fish during that period <sup>9)</sup>



他の系統のメダカについても、明条件下での挙動を調べたところ、HO4CとHB12A系統はHO5と同じく回転運動を行ったが、HNI-II系統と雑系メダカはまったく回転しなかった。HB32Cは一部のメダカは回転したが、多くのメダカは回転しなかった。このように、明条件・微小重力下で回転運動を起こすか否かは系統によって定まっていることが判った。しかし、暗条件・微小重力下ではすべての系統のメダカが回転運動を行った（表4-3）。

表4-3 パラボリックフライトにおける微小重力下でのメダカの行動<sup>9)</sup>  
Table 4-3 Fish behavior under microgravity<sup>9)</sup>

| 系統名 (Strain)        | 明 (Light) | 暗 (Dark) |
|---------------------|-----------|----------|
| HO5                 | ○         | ○        |
| HO4C                | ○         | ○        |
| HB12A               | ○         | ○        |
| HB32C               | △         | ○        |
| HNI-II              | ×         | ○        |
| 雑系ヒメダカ<br>(Variety) | ×         | ○        |

- ：回転 (all fish looped)
- △：一部回転 (some fish looped)
- ×：回転せず (no looping)

図4-4 a, bはHNI-IIメダカの挙動であるが、HO5（図4-2）と比べて回転せず、移動もゆっくりである。

このようなメダカの回転運動は一過性で、宇宙では時間を追って微小重力条件に順応していくと考えられる。しかし、スペースシャトルが地上から微小重力環境へ到達した場合、メダカが回転運動を始めると衰弱してしまう危険がある。今回の放物線飛行実験により、明条件で回転運動を行わないメダカ系統が見いだされたことは心強い。これらの系統のメダカも暗条件では回転する。そこでIML-2実験では、打ち上げ時を含め微小重力状態到達後約2日間は明条件を維持し、この間に微小重力状態に対しての順応を期待することとした。打ち上げるメダカ系統としては、HNI-IIあるいはHB32Cが候補である。今後の研究によっては、これらの2系統どうしあるいは他の系統との雑種第一代（F1）も有力候補となる可能性もある。

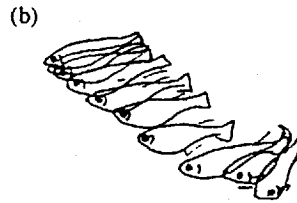
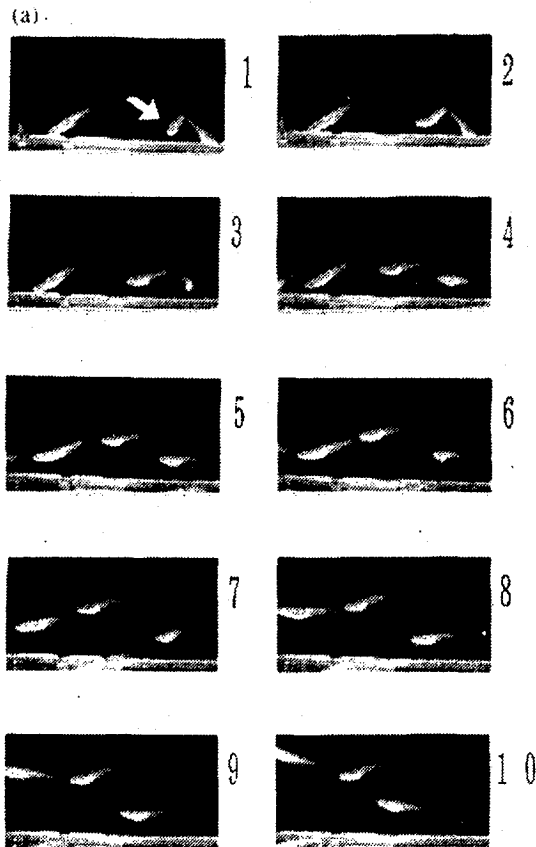


図4-4 明条件、微小重力下でのHNI-II系統メダカの行動。メダカの行動のトレース、(a)No.1から10までは3.2秒、(b)この間のメダカの位置<sup>9)</sup>

Fig.4-4 Looping and twisting behavior of an inbred strain medaka HO5 under microgravity and light conditions. Movement of a fish (shown by a white arrow) is traced; (a) Time elapsed from No.1 to 20 is 1.8 sec, (b) Fish positions<sup>9)</sup>

## 5. 両生類における Motion Sickness の可能性を調べる実験<sup>10) 11)</sup>

### 5.1 目的

旧ソ連のミール宇宙ステーションの微小重力環境下でニホンアマガエルは特徴的な姿勢をとった<sup>4)</sup>。この姿勢と薬品によって誘発される嘔吐や Retching behavior のときの姿勢の類似性から、ミールでのカエルの姿勢はで嘔吐や Retching behavior を起こすような状態— Motion sickness —を示していたという可能性が考えられる。カエル、イモリを含む両生類はそもそも Motion sickness を起こし得るのかどうかについてパラボリックフライトを使って調べる。

## 5. 2 方法

- (1)実験試料：サンショウウオの1種 (*Hynobius*) 幼生、  
 アカハライモリ (*Cynops pyrrhogaster*) 成体雄雌・幼生、  
 ツチガエル (*Rana rugosa*) 雄・幼体、  
 トノサマガエル (*Rana nigromaculata*) 幼体、  
 アフリカツメガエル (*Xenopus*) 幼体、  
 ニホンアマガエル (*Hyla japonica*) 成体雄雌、  
 シュレーゲルアオガエル (*Rhacophorus schlegelii*) 成体雄雌  
 詳しくは表5-1参照。

表5-1 実験に使われた生物試料<sup>11)</sup>

Table 5-1 Animals exposed to parabolic flight<sup>11)</sup>

| Species &<br>Developmental Stage      | Number of Experimental Animals |           |           |           |          |
|---------------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
|                                       | Controls                       | Day 1(10) | Day 2(8)  | Day 3(9)  | Day4(9)  |
| <i>Hynobius nebulosus</i> larvae      | 27                             |           | 4         |           | 6        |
| <i>Cynops pyrrhogaster</i> larvae     | 5                              |           | 6         |           |          |
| <i>Cynops pyrrhogaster</i> females    | 3                              |           | 5         |           |          |
| <i>Cynops pyrrhogaster</i> males      | 3                              | 6         |           |           |          |
| <i>Rana rugosa</i> males or juveniles | 17                             |           | 8         |           |          |
| <i>Rana nigromaculata</i> juveniles   | 21                             | 6         |           | 6         |          |
| <i>Xenopus laevis</i> juveniles       | 15                             |           | 6         |           |          |
| <i>Hyla japonica</i> females          | 3                              |           | 3         |           |          |
| <i>Hyla japonica</i> males            | 19                             | 6         |           | 8         |          |
| <i>Rhacophorus schlegelii</i> females | 3                              |           | 5         |           |          |
| <i>Rhacophorus schlegelii</i> males   | 10                             | 5         | 6         | 8         |          |
| <b>Totals for each day</b>            |                                | <b>23</b> | <b>43</b> | <b>22</b> | <b>6</b> |

Bold values in body of table indicate groups in which at least one individual vomited after exposure to parabolic flight. The number of parabolas flown on each day is shown in parentheses at top of table.

- (2)実験方法：実験試料にフライトの1.5~4時間前にエサを強制給餌あるいは自然給餌し、パラボリックフライトの前、中、後における嘔吐反応、Retching behavior、姿勢、その他の注目すべき行動について目視あるいは、Hi 8 mm ビデオカメラによる記録を行った。観察の行われていないときに嘔吐を起こしたかどうかについては嘔吐物の有無によって判断した。嘔吐物はある程度餌の塊のままであるため、嘔吐物の数により、嘔吐した回数（またはのべの匹数）が判断できる。サンショウウオの1種の幼生、アカハライモリ幼生には、イトミミズ (*Tubifex*) を自然給餌、ツチガエル雄・幼体、トノサマガエル幼体、アフリカツメガエル幼体、ニホンアマガエル成体雄雌、シュレーゲルアオガエル成体雄雌には牛レバーを強制給餌した。サンショウウオの1種の幼生、アカハライモリ幼生は、水を入れた小型水槽に、ツチガエル雄・幼体、トノサマガエル幼体、ニホンアマガエル成体雄雌、シュレーゲルアオガエル) 成体雄雌、アカハライモリ成体雄雌は水を入れずに期水槽壁を濡らした大型

水槽に、アフリカツメガエル幼体は水を満たした中型水槽に搭載して航空機のラック等に取り付けた。同様に強制給餌、自然給餌した試料を対照群とした。

### 5. 3 結果および考察

フライト前の観察ではどの生物種においても、異常な行動は見られなかった。パラボリックフライト中はツチガエル、トノサマガエル、ニホンアマガエル、シュレーゲルアオガエルの多くの個体で、ミール内のニホンアマガエルが示したような姿勢が見られた。シュレーゲルアオガエルは、パラボラの回数が進むにつれて浮かびあがらずに壁や床についているようになり、微小重力環境への適応が見られた。Tree frog (ニホンアマガエル、シュレーゲルアオガエル) でないカエルのほうが四肢の接着力が弱く、微小重力状態のときによく tumbling した。アフリカツメガエルは twisting しながら遊泳した。アカハライモリ成体はほとんど動かなかった。パラボリックフライト中に嘔吐は観察されなかったが、パラボリックフライト中の 1 G 下では口や目の開閉、Retching behavior、後退がニホンアマガエル、シュレーゲルアオガエルで観察された。パラボリックフライト後 30 分後から 42 時間後までに嘔吐反応を示す個体が観察された (表 5-2)。対照群では嘔吐やその他の異常な行動はまったく観察されなかった。これらのことから両生類も Motion sickness を起こし得ることが示された。ただし、両生類では、嘔吐は刺激を受けてからかなり時間がたってから起こることがあるということが特徴的であった。Motion sickness にかかりやすいかどうかは性別、発生段階 (年齢)、種などによって異なるかどうかについてはさらに実験が必要である。ミール内でのニホンアマガエルの異常な姿勢が、Motion sickness のあらわれであったかどうかには、今後さらに詳細な観察が必要である。

表 5-2 フライト後嘔吐した個体数と嘔吐までの時間<sup>1)</sup>

Table 5-2 Latency between exposure to parabolic flight and emesis<sup>1)</sup>

| Species                       | Time Interval Over Which Emesis Occurred |                        |                      |                      |
|-------------------------------|--|------------------------|----------------------|----------------------|
| <i>Hynobius nebulosus</i>     |  |                        |                      |                      |
| larvae                        | <0.5 hr<br>(1 or 2)                      |                        |                      |                      |
| <i>Rana rugosa</i>            |  |                        |                      |                      |
| males or juveniles            | 1-2.25 hr<br>(1 or 2)                    |                        |                      |                      |
| <i>Rana nigromaculata</i>     |  |                        |                      |                      |
| juveniles                     | 6-19.5 hr<br>(1 or 2)                    |                        |                      |                      |
| <i>Hyla japonica</i>          |  |                        |                      |                      |
| males                         | 21-28 hr<br>(1)                          |                        |                      |                      |
| <i>Rhacophorus schlegelii</i> |  |                        |                      |                      |
| females                       | 7-21 hr<br>(2 to 4)                      |                        |                      |                      |
| males                         | 0.5 hr,<br>(1 to 2)                      | 6-19.5 hr,<br>(1 to 2) | 7-21 hr,<br>(1 to 2) | 30-42 hr<br>(1 to 2) |

The large spread for times in this table reflects evening and night periods when no observations were made. The number of individuals likely to have regurgitated food based numbers in parentheses indicate the maximum and minimum on the volume and distribution of vomitus in their containers.

## 6. 結言

パラボリックフライトによって得られる微小重力下でのメダカ、イモリの行動、姿勢を観察した。また、イモリやカエルなどを含む両生類がMotion sicknessにかかり得るかについてパラボリックフライトを刺激とした実験を行った。以下に得られた結果および考察を述べる。

**メダカ**: いろいろな系統のメダカを用い、微小重力感受性について差が存在するかどうかについて調べた。今回の実験により、明条件で回転運動を行わない、またはあまり行わないメダカ系統HNI-II、HB32Cが見つかった。これらの系統は回転遊泳による衰弱のないことあるいは宇宙実験で交尾、産卵行動をより行いやすいと考えられることから、宇宙実験用のメダカの候補となり得る。さらに、これらの2系統どうしあるいは他の系統との雑種第一代(F1)も有力候補となる可能性もある。

**イモリ**: 水中のイモリはゆっくりとした回転、うねりを示しながら泳いだ。Stage 42-44の幼生はもっと発生段階の進んだStage 54-57の幼生よりも微小重力に反応した行動をあまり示さなかった。このように発生段階によって微小重力に対する反応行動が変化してくることが示され、平衡器官の発生との関係が示唆された。

**MOTION SICKNESS**: カエル(ツチガエル、トノサマガエル、ニホンアマガエル、シュレーゲルアオガエル)、サンショウウオの1種(*Hynobius*)でパラボリックフライト後に嘔吐が見られ、両生類もMotion sicknessを起こし得ることが示された。ミール内のニホンアマガエルで観察された異常な姿勢はMotion sicknessのあらわれであった可能性が高いが、これについては、さらに実験が必要である。

## 7. 謝辞

本実験を行うにあたり、地上支援グループや実験操作要員として参加していただいた小池元さん(横浜市立大学)、鈴木靖さん・武井誠さん(北里大学)、中谷祐一さん(東京大学アイソトープ総合センター)に感謝いたします。

## 8. 参考文献

- 3) Small Space Platform Working Group, Institute of Space and Astronautical Science ;  
Advanced Technology Experiment onboard Space Flyer Unit (SFU) Space Biology Experiment (BIO)  
EXP-R-i006-1 (1989)
- 4) Izumi-Kurotani, A., Yamashita, M., Kawasaki, Y., Kurotani, T., Mogami, Y., Okuno, M., Akiyama, T., Oketa, A., Shiraiishi, A., and Ueda, K.; Behavior of Japanese Tree Frog Under Microgravity, *Biological Sciences in Space*, Vol.5, No.3 pp.185-189 (1991)
- 5) FRIS実験グループ, 宇宙科学研究所 宇宙基地利用研究センター; 宇宙ステーションMIRにおけるカエル実験 FRog In Space 報告書 (1991)
- 6) Naitoh, T., Wassersug, R. J., and Leslie, R. A.; The Physiology, Morphology, and Ontogeny of Emetic Behavior in Anuran Amphibians, *Physiological Zoology*, Vol.62, pp.819-843 (1989)
- 7) 岡田筋人編; 脊椎動物の発生 [上], 培風館 (1989)
- 8) Wiederhold, M.L., Yamashita, M., Izumi-Kurotani, A., Larsen, K., Koike, H., Nagaoka, S. and

- Asashima, M.; Developmental Changes in the Vestibular System of Imori, 第9回宇宙利用シンポジウム Proceedings, pp.127-131 (1992)
- 9) Ijiri K., Eguchi, H., Hyodo-Taguchi, Y., Suzuki, Y., Takei, M., Nakatani, Y., Mizuno, R., Koike, H., Izumi-Kurotani, A., Yamashita, M. and Nagaoka, S.; Fish Behaviors under Microgravity and Their Strain Differences, 第9回宇宙利用シンポジウム Proceedings, pp.115-118 (1992)
- 10) Izumi-Kurotani, A., Wassersug R.J., Yamashita, M., Naitoh, T. and Nagaoka, S.; Frog Behavior under Microgravity - Possibility of Motion Sickness in Amphibians -, 第9回宇宙利用シンポジウム Proceedings, pp.112-114 (1992)
- 11) Wassersug, R.J., Izumi-Kurotani, A., Yamashita, M. and Naitoh, T.; Motion Sickness in Amphibians, 投稿中