

イモリ・メダカの微小重力下での行動 (その1)

井尻 憲一¹⁾、江口 星雄²⁾、黒谷 明美³⁾、山下 雅道³⁾、長岡 俊治⁴⁾

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

³⁾ 宇宙科学研究所 宇宙基地利用研究センター、⁴⁾ 宇宙開発事業団

Behaviors of Newt and Medaka under Microgravity

- Part 1 -

Kenichi Ijiri¹⁾, Hoshio Eguchi²⁾, Akemi Izumi-Kurotani³⁾,
Masamichi Yamashita³⁾, and Shunji Nagaoka⁴⁾

¹⁾ Radioisotope Center, University of Tokyo, ²⁾ Research Center for Nuclear Science and Technology,
University of Tokyo, ³⁾ Space Utilization Research Center, Institute of Space and Astronautical Science,

⁴⁾ National Space Development Agency of Japan

ABSTRACT

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

MEDAKA : A pure strain HO5 and the variety of the fish both looped under the dark conditions. However, under the light conditions, HO5 strain showed a looping behavior, but the variety did not. The other pure strain HB32C did not looped either. Thus, there exists a strain-difference in the behavioral response of the fish medaka to microgravity.

NEWT : Newts in water swam with gentle rolling and twisting. In the air, most of them stayed on the surface of the container even under microgravity. Some newts floated during weightlessness periods. They swam in the air with twisting and kept forelimbs on their sides of the bodies. Newts in the AAEU cassette kept a contact on the surfaces of the cassette both in water and in the air since the thickness of AAEU cassette is as narrow as the body width of adult newts. It seems that newts can keep the posture while laying eggs in the AAEU cassette even in space.

The mechanical vibration was transmitted to the experimental rack from the aircraft MU-300. In order to evaluate its effects on the behavior, the vibration was recorded for the analysis of amplitude and frequency spectrum.

1. 緒言

地球上の生物は1 G下でそのすべての生命活動を営んでいる。生殖、発生、分化などももちろんその例外ではない。これらもっとも基本的な生命活動にはとりわけ重力の効果は重要である。あらゆる生物は1個の細胞から始まる。1個の受精卵が分裂を繰り返して、細胞分化と細胞群のダイナミックな移動を伴いながら進んでいく初期発生の過程は、生物の一生の中で重力を含む周囲のさまざまな環境に、もっとも影響を受け易い時期である。初期発生の過程において1 G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¹⁾²⁾³⁾。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、メダカ成魚、メダカ胚、メダカ稚魚の行動や姿勢制御について地上1 G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が目的とした。さらに、IML-2計画で使用予定の水棲動物実験装置(AAEU)カセットの機能試験用モデルを使い、カセット内での生物試料の状態、行動、姿勢制御についても調べた。

2. 実験方法 (装置)

2. 1 観察系

- (1) 3次元水槽での観察：3次元水槽中の生物試料の正面像、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視条件下、および赤外光による暗視条件下で記録した。明視条件ではハンディタイプの8 mmビデオカメラレコーダー、暗視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8 mmビデオレコーダーを用いた。
- (2) IML-2水棲動物実験装置(AAEU)カセット(機能試験用)での観察：AAEUカセット内での生物試料を蛍光灯およびハロゲンランプによる明視条件下、および赤外光による暗視条件下で記録した。明視条件ではハンディタイプの8 mmビデオカメラレコーダー、暗視条件では赤外光用CCDカメラおよび8 mmビデオレコーダーを用いた。

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 (8 mmビデオテープ)
- (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 (セクション5参照)
- (4) 水槽温度
- (5) 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、実験装置機能ブロック図を示す。

モニター及び
DAT部
Monitor &
Digital Audio
Tape Recorder

三次元水槽
3-Dimensional
Vessel & 8mm
Video

AAEU
カセット
Aquatic Animal
Experiment Unit
& 8mm Video

CPU及び
レコーダー部
CPU &
Recorders

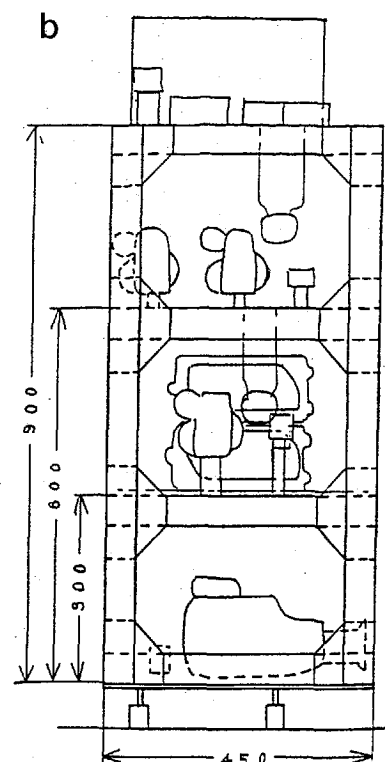
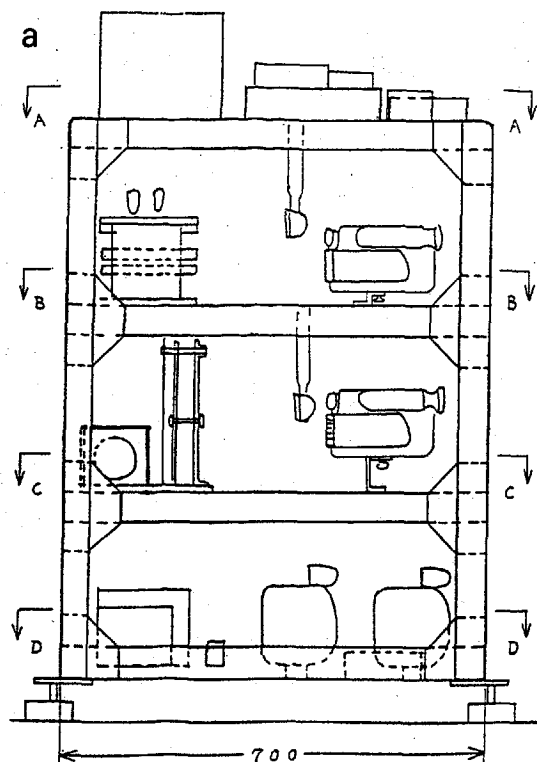


図2-1 航空機搭載用ラックに組み込まれた実験装置の図
Fig.2-1 Integrated Experiment Rack a. Front, b. Side views

a. 正面図 b. 側面図

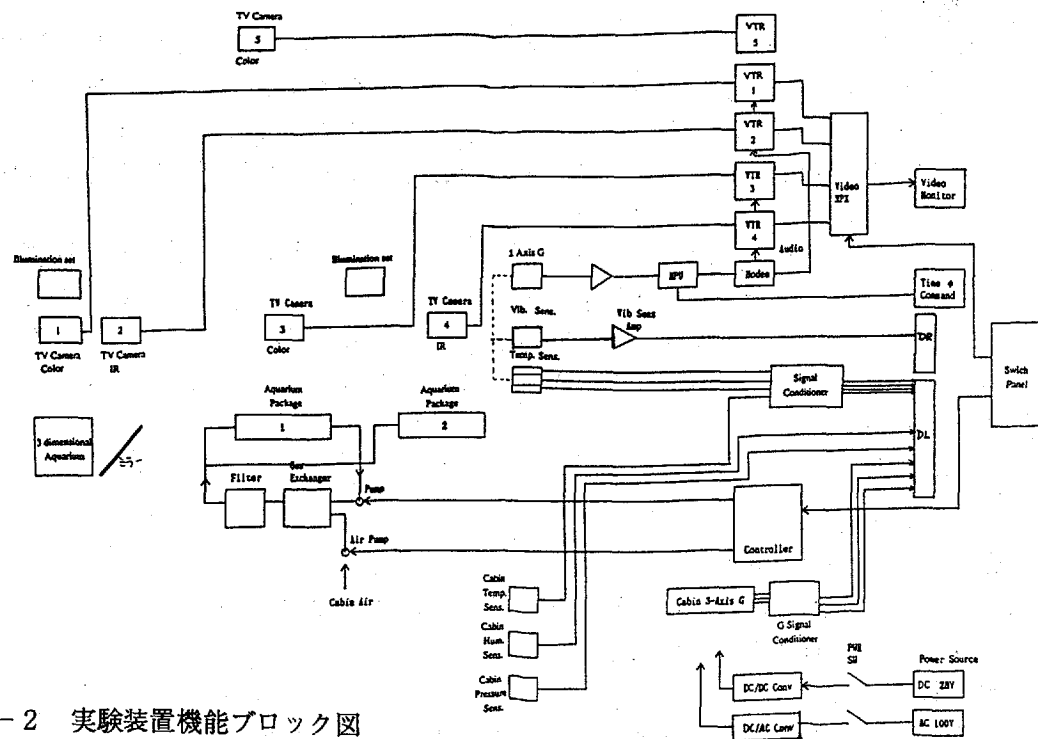


図2-2 実験装置機能ブロック図
Fig.2-2 Functional Block Diagram

3. イモリの実験

3. 1 目的

パラボリックフライト中のイモリ成体の平静時（産卵時でないとき）の姿勢制御、行動を観察、記録し、行動に対する微小重力の影響を調べるとともに、IML-2やSFUにおける宇宙実験での微小重力下での産卵行動の可能性について検討する。特にイモリの大きさに対して十分に広い水槽とIML-2で使用予定のAAEUカセットの機能試験用モデル内での行動について比較してみた。

3. 2 方法

(1) 実験試料：アカハライモリ (*Cynops pyrrhogaster*) 成体 雌 8匹

北陸地方日本海海岸沿いの水田・水路より、1991年11月に採集。

(2) IML-2 水棲動物実験装置 (AAEU) カセット内でのイモリの行動の記録

AAEUカセット（厚み20mm以下）（図3-1）内に1カセットあたり2匹のイモリを入れ、カセット内でのイモリの行動をパラボリックフライトへのエントリー時の過重力下（2Gあるいは1.3G）、微小重力下、パラボリックフライトからのリカバリー時の過重力下（2G）、1G下（通常飛行時）で8mmビデオカメラによって記録した。記録は明視条件、暗視条件の両方で行った。

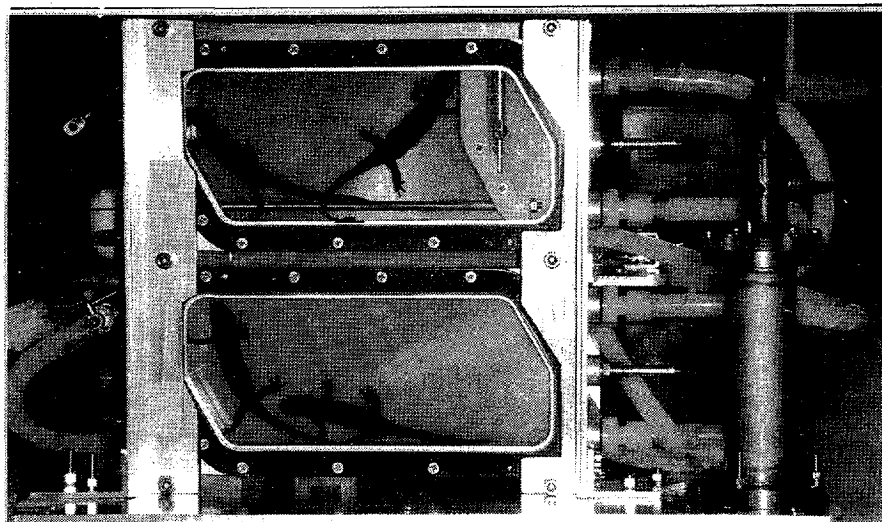


図3-1 IML-2用水棲動物実験装置(AAEU)カセットの機能試験用モデル（イモリ、メダカ共通）

Fig. 3-1 Functional Verification Model of Aquatic Animal Experiment Unit (AAEU) for IML-2

(3) 3次元水槽内でのイモリの行動の記録

イモリの大きさに対して充分広い（水槽の中心にイモリを置いた場合、どの側壁にも四肢が触れない：W167×D87×H156mm、容量2.3ℓ）水槽（3次元水槽）（図3-2）内にイモリを入れ、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（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8mm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。水槽内は空気のみ（ただし湿度を与えるために湿したスポンジを底面に置いた）または水のみ（水槽中に気相はほとんどなし）の状態とした。明視条件、あるいは暗視条件で記録を行った。

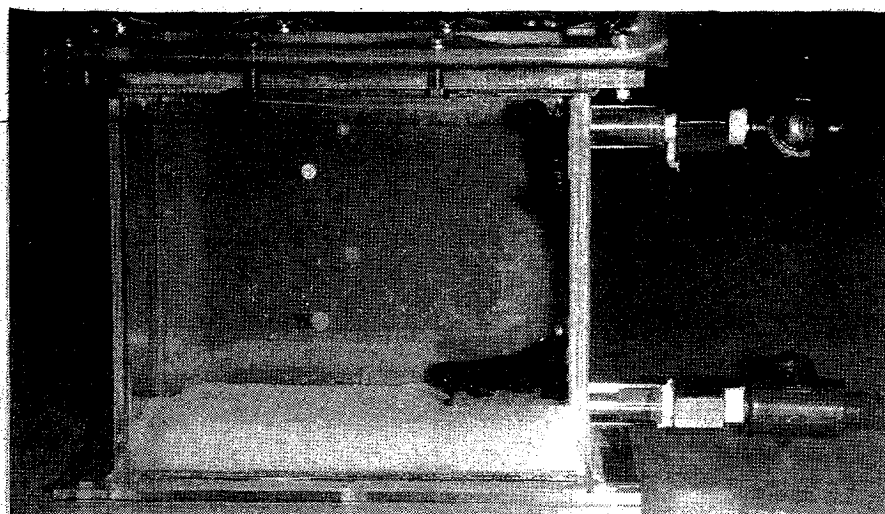


図3-2 3次元水槽（イモリ、メダカ共通）

Fig. 3-2 3-Dimensional Vessel (for Newt and Medaka)

(4) 航空機キャビン内でのイモリの行動の記録

イモリを水槽やカセットに入れずに、航空機のキャビンに放し、その行動を記録した。これは3次元水槽よりもさらに行動に対する空間的な制限が減ることを期待したものである。照明の条件は機内照明を利用し、暗視条件での記録は行わなかった。

3. 3 結果および考察

(1) 3次元水槽中での行動—空中

微小重力前後の過重力（ $\sim 2\text{ G}$ ）下では多くのイモリは水槽床面に留まっていた。このとき、頭をうなだれていることが多いが、中には、頭をもたげている個体も観察された。宇宙ステーション・ミールでニホンアマガエルにおいて観察されたような異常な反り返り姿勢⁴⁾は観察されなかった。

微小重力に移行すると、初めの1、2回のパラボラではほとんどのイモリが浮かび上がり、身体全体がうねり運動をした。このとき四肢を体側に沿わせることが多く（図3-3 a）、 1 G 下の水中で遊泳しているときの姿勢に類似していた。また、短時間ではあるが、四肢を広げて浮かぶこともあった。これは 1 G 下の水中で遊泳中に推進をやめ、一時的に浮かんでいるときの姿勢に似ていた。ただし、四肢を広げても、ニホンアマガエルに見られたような身体の異常な反り返り⁴⁾は観察されなかった。空中に浮かんでいるとき、水槽側面や他のイモリに触れるとこれを掴もうとし、実際に掴むことも観察された。

パラボラの回数が進むごとに微小重力時に浮かびあがる個体の数は減少し、多くの個体が水槽底面や、側面にとまっていられるようになった。他のイモリにしがみついて浮遊に耐えているものも観察された。このことは、イモリが微小重力下で物の表面にくっつくということに関して適応しうることを示唆する。

これら観察されたすべての現象は照明光の方向の切り替えおよび暗視条件、明視条件のちがいによっても変化はなかった。

(2) 3次元水槽中での行動－水中

微小重力前後の過重力（ $\sim 2\text{ G}$ ）下では(1)の空中の場合と同様であった。

微小重力に移行すると、ほとんどのイモリが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（図3－3 b）。積極的に泳ぐ個体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視条件、明視条件のちがいによっても変化はなかった。

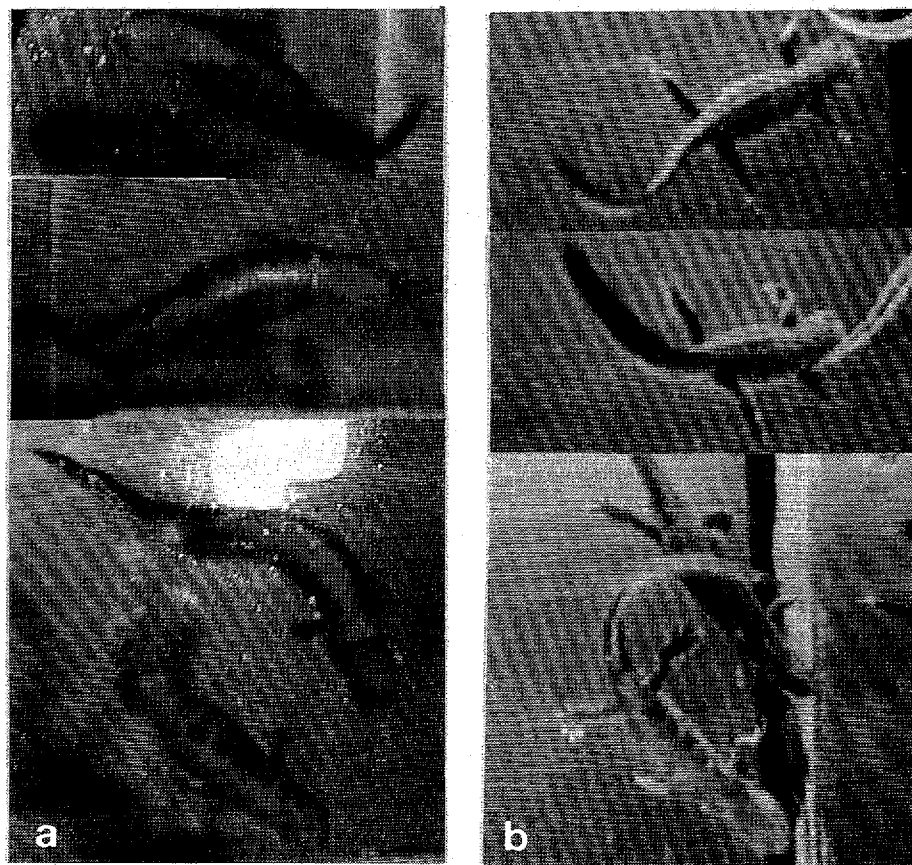


図3－3 微小重力下におけるイモリ成体の行動

a. 空中 遊泳時の姿勢に似た姿勢をとる b. 水中 四肢を広げてゆっくりとした運動をする

Fig.3-3 Behavior of Newts under microgravity a. in the air, b. in the water

(3) AAEUカセット機能試験モデル中での行動

AAEUカセット機能試験モデルはイモリの体形に比べて厚みが薄く、四肢あるいは体の表面が水槽内壁に接するので、微小重力下でもさほどの行動の変化は見られなかった。また、暗視条件、明視条件のちがいによっても変化はなかった。

なお、微小重力下でのイモリの幼生の行動観察を今後実施する予定である。

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2系統 (HO5, HB32C) および雑系 (variety) の成魚

(2) IML-2 水棲動物実験装置 (AAEU) カセット内でのメダカ成魚の行動の記録
AAEU カセット (厚み 20 mm以下) (図3-1) 内に1カセットあたり4匹のメダカを入れ、カセット内でのメダカ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 8 mm ビデオカメラによって記録した。

AAEU 内の水流 (ディフューザーなし) の影響についても観察した。

(3) 3次元水槽内でのメダカの行動の記録

メダカの大きさに対して充分広い (イモリを入れたものと同じ3次元水槽) 水槽 (3次元水槽) (図3-2) 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 (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 8 mm 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、明視条件あるいは暗視条件で行った。

4. 3 結果および考察

純系メダカHO5および雑系メダカ (variety) の成魚はともに暗条件での微小重力下では盛んな回転運動を繰り返した。しかし、明条件ではこの2種類は全く違った反応を示した。純系HO5は明条件下で盛んな回転運動を行ったが、雑系メダカは全く回転しなかった。雑系メダカは照明光を利用して上下方向を認識しているものと考えられる。これに対し、純系メダカHO5にはこの能力はなかった。

図4-1は明条件での微小重力下における1.3秒間の純系メダカHO5 (1コマ目の白い矢印の魚) の動きを追ったものである (ビデオは1秒間に30コマ、図4-1は2コマごとの写真)。図4-2はこの間の魚の位置を追ったものであり、回転の様子がよくわかる。約20秒間の微小重力下においてこのような回転を何回も繰り返す。図4-1において水槽の底辺部には6匹の雑系メダカがいるが、微小重力下では回転運動を行わず、しかもほとんど動かないことがわかる。

AAEUカセットで別の純系メダカHB32Cの微小重力下での挙動を調べたところ、この系統は明条件下で回転運動を示さなかった。すなわち、純系メダカには、微小重力下で回転運動を行う系統 (HO5) と行わない系統 (HB32C) とが存在する。今後、メダカで作出・維持されている他の純系についても回転運動の有無を調べていき、微小重力環境に強いメダカを選んでいくつもりである。

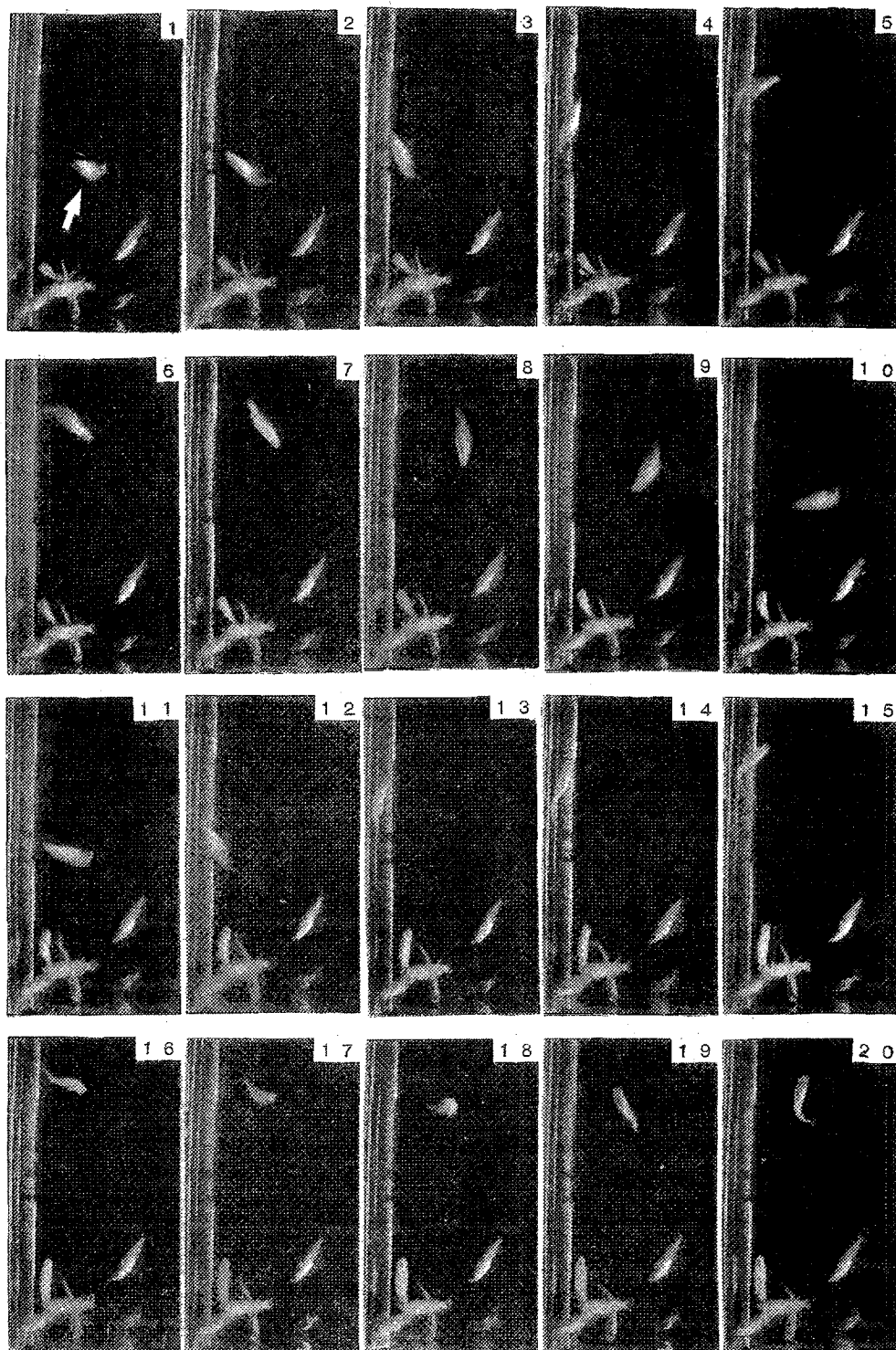


図 4 - 1 微小重力下における純系メダカHO5（白い矢印の魚）および雑系メダカ（他の6匹）の挙動（明条件）。番号1から20までは1.3秒。

Fig.4-1 Behaviors of a pure strain medaka (HO5)(shown by white arrow) and the other six varieties under the light condition during microgravity. Time elapse from No.1 to 20 is 1.3 sec.

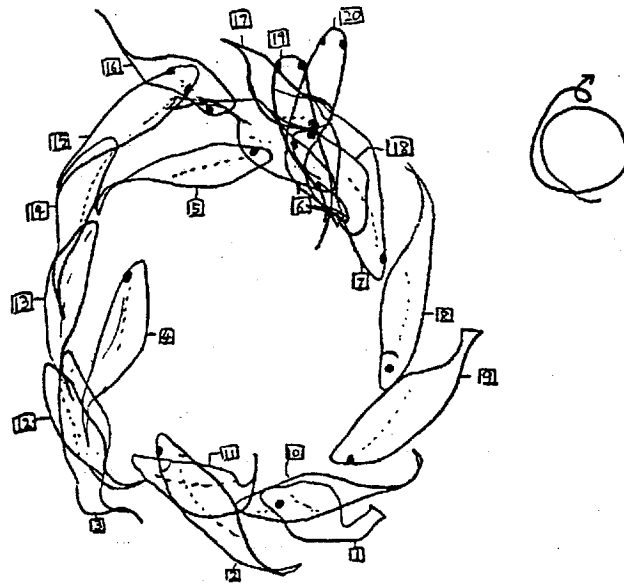


図4-2 図4-1における純系メダカHO5（白い矢印の魚）の動きを重ねたもの。

Fig.4-2 Trace of a pure strain medaka (HO5) shown with the white arrow in Fig.4-1.

5. 振動計測

5. 1 目的

航空機による微小重力実験⁵⁾は簡便に比較的長秒時の微小重力環境を得られることから、多くの研究分野で利用されている。航空機実験において得られる重力環境についてはこれまでも多くの研究がなされ、微小重力環境の改善方策が検討され、その有効性も実証されてきている⁵⁾⁶⁾⁷⁾。ところで、対象とする現象によって実験システムに要求される微小加速度（重力）のレベルや、飛行中の加速度-時間のプロファイルは異なる。また微小重力要求値が周波数に依存することは、流体・伝熱現象についてよく解析されている⁸⁾。実験系の特性長さや物質の物性値などからこの微小重力要求の周波数依存性が導かれる。生物実験では、重力感受とそれに派生する種々の現象の解明などに航空機実験が有効である。重力環境の変化に伴伴する他の環境要素の変動が生物試料にどのような影響をあたえるかについては十分注意する必要がある。振動は加速度（重力）の高い周波数成分とみることができる一方、生物にとっては重力感受とは別に聴覚やその他の刺激入力となりうるため、その影響を評価しておかなくてはならない。

飛行実験中に実験部へ加わる振動の発生源および伝達経路としては次のような項目がある。機体より機械的な接合部を経由して実験部に伝達される振動は、機体の運動による加速度、機体の受ける流体力（流れの剥離による機体外壁面圧力の変動や操舵時の翼面圧力変動など）、ジェットエンジンからの噴流が発生する流体騒音の機体への伝搬、エンジンおよび補機の発生する機械的な振動・雑音、機体内の空調機や操舵機構などの稼動による機械的振動などを挙げることができる。また機体内の空气中を伝搬して実験部に与えられる振動は、上記の擾乱源からの振動の他に、実験者の音声や実験装置からの振動が加わる。さらに、実験部に実験者が何らかの操作を行えば、実験部を振動させることになる。

操作を行えば、実験部を振動させることになる。

なお、自由落下法による微小重力実験においても、落下体の切り離し時に機械的な構造体に働く力が急激に変化し大きな振動を実験部に与える可能性が指摘されている⁹⁾。実験体の重量が大きな場合この効果は深刻なものとなる。

微小重力実験で加速度（重力）環境を計測する重力センサー・記録系の多くは、周波数領域が直流から100 Hz以下に限定される。本実験では、より高い周波数成分の振動について計測し解析した。得られる結果を利用して、地上での比較実験において機上での振動環境を模擬してその影響を評価することも可能である。振動の強度や周波数成分を知ることにより、実験部に加わる振動を低減する必要のある場合には、その方策について指針を与えることもできる。

5. 2 方法

ダイヤモンドエアサービス社の運航する小型ジェット機（MU-300）に搭載された実験ラックの振動を計測した。計測のブロックダイアグラムを図5-1に示す。振動センサー（TEAC、707）は圧電式で、測定範囲は $\pm 15\text{ G}$ 、周波数範囲3 Hz - 10 kHz（ $\pm 3\text{ dB}$ ）である。センサーアンプ（TEAC、SA-6）により信号をインピーダンス変換・増幅してレコーダー（Sony、DATウォークマン TCD-D3）に記録した。このレコーダーは、入力信号を44.1 kHzのサンプリング間隔で16ビットのA/D変換を行い磁気テープにデジタル記録する。2チャンネルの録音が可能で、1つのチャンネルに振動データ、他方のチャンネルに歪ゲージ式の重力センサーからの信号をA/D変換してMODEM信号としたものを記録した。レコーダーの収録周波数の上限はA/D変換間隔（44.1 kHz）できまり、低周波側はカタログ仕様では20 Hz（ $\pm 1\text{ dB}$ ）となっている。低周波側の収録・再生特性を確かめたところ、図5-2に示すように、1 Hz周辺まで良好に記録できることがわかった。実験飛行後、記録した信号をアナログ入力ボード（カノープス、ADJ-98）を用いてパーソナルコンピュータ（日本電気、PC-9801 VM）に取り込み、振動波形・強度や周波数スペクトルを解析した。

実験ラックは航空機内の実験装置搭載室右舷後方に搭載された。ラックはダイヤモンドエアサービス社の標準実験ラックであり、機内床面のレールに固定された。実験ラックにはイモリおよびメダカの行動観察用実験装置が搭載され、ラックの最上段のパネル面にビデオモニター等と一緒に振動センサーが据え付けられた。

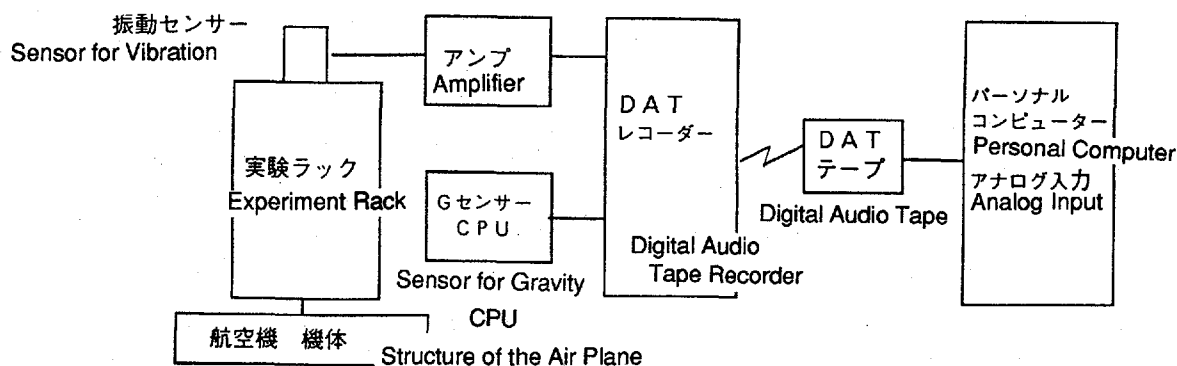


図5-1 振動計測・解析システム

Fig.5-1 Vibration Measurement and Analysis System

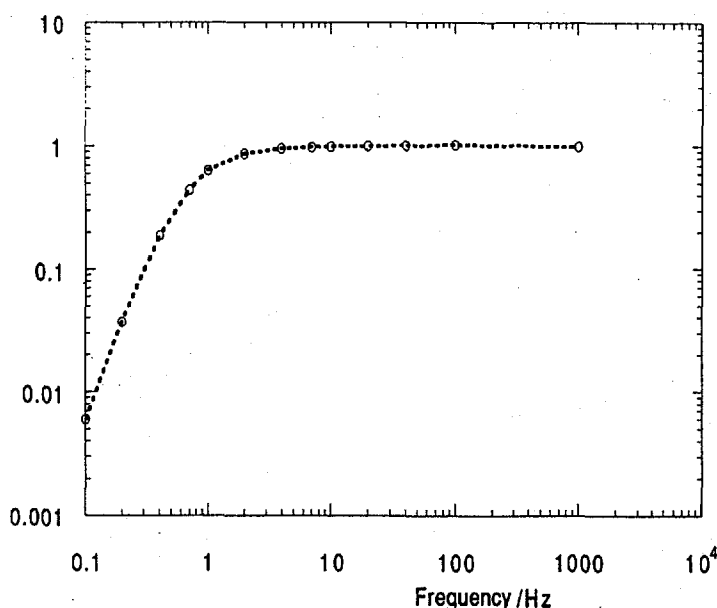


図5-2 DATウォークマンの収録・再生周波数特性

Fig. 5-2 Frequency Characteristics of Digital Audio Tape Recorder

5. 3 結果および考察

飛行実験中の振動の記録は航空機の離陸前から開始し、約2時間継続して行った。収録された振動信号を再生しスピーカーに導くと、前述した振動擾乱源を特徴づける音が識別できた。実験者の音声センサー取り付け面を介して収録されていたり、実験装置のスイッチ等を操作した際に加えられた振動が判別できた。定常飛行時の振動波形と周波数スペクトルを図5-3に示す。振幅はおよそ ± 0.1 G程度である。使用された航空機はターボジェットエンジン2基が機体後部両側に装備されている。エンジンには燃焼室内に高圧の空気を送り込むタービン翼列および推進力を生み出すファン翼列の二つがあり、これらは燃焼気により高速回転される。タービンおよびファンの回転数はそれぞれ400-470 Hz、および170-200 Hzの領域にある。2基のエンジンの回転数は独立に制御される。図5-3の周波数スペクトルに示される191、262、390、490 Hzのピークはこれらエンジン内部の回転によるものと推定できる。弾道飛行時の振動波形の振幅の時間変化の記録を図5-4に、ダイヤモンドエアサービス社により計測されたZ軸重力値(G_z)の時間変化とともに示す。弾道飛行に移る前に航空機がエンジンの回転数を上げ増速しダイブした後機首が引き起こされる段階で、振動の振幅がおよそ ± 0.3 Gに増大する。増速時に加わる約2 Gの過重力状態から微小重力状態への遷移および微小重力期間後の機首のたち上げによる重力値の増大は、約1-2秒の時定数で起こる。この重力値の変化速度はセンサーの感度が低い周波数領域にあるために、振動波形には小さな変動として観測される。微小重力期間中の G_z の範囲は ± 0.05 Gの範囲に十数秒間維持され、この間航空機の微小重力制御特性の時定数とも推測される約0.5 Hzのゆっくりした振動がみられる。この微小重力期間における高周波の振動の振幅は ± 0.1 G以下に減少した。

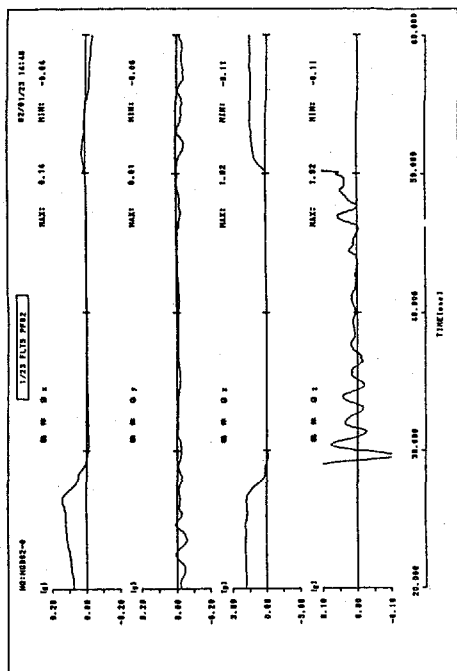


図 5 - 3 定常飛行時の振動波形と周波数スペクトル

Fig.5-3 Wave Form and Frequency Spectrum of Vibration during Normal Flight

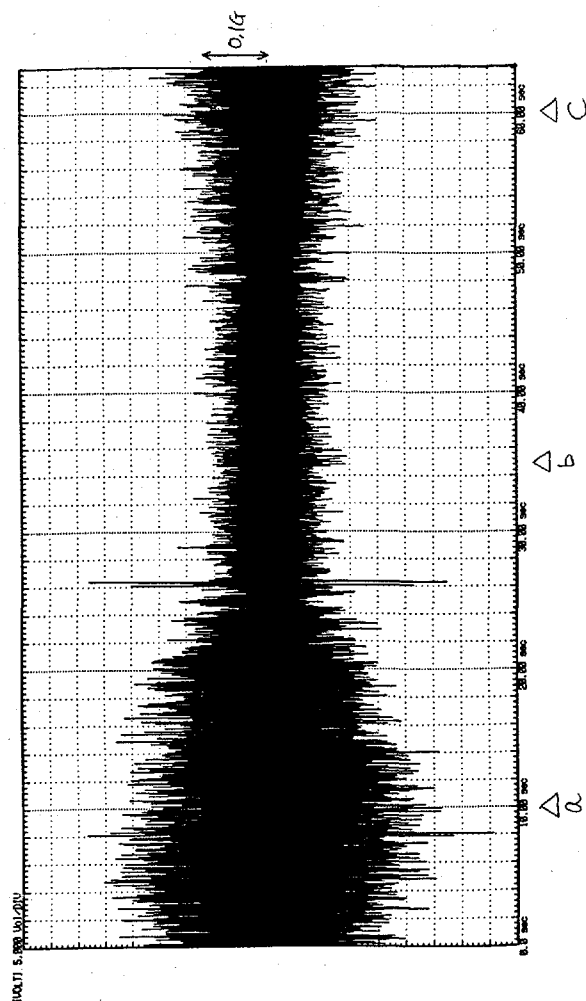


図 5 - 4 弾道飛行時の振動振幅の時間変化

Fig.5-4 Time History of Amplitudes of Vibration during Parabolic Flight

図5-5に弾道飛行時の振動の周波数スペクトル（1秒間の振動波形のFFTによる）の時間変化を、図5-6に代表的時間での正規化された周波数スペクトルを示す。図中のa, b, cは図5-4の下に示す時間に相当する。増速、ダイブ時のスペクトルはエンジンの回転数の増大に起因すると思われる振動周波数の変化や振幅の増大が認められる。図5-6 aのスペクトルは何本かの鋭いピークからなっており、エンジンが振動の発生源の大きなものである。微小重力に制御される飛行期間においては、全周波数領域にわたって振動の強度が減衰する。図5-6 bに示されるように、振動の発生源はエンジンである。弾道飛行後期の機首立ち上げにおいては、図5-6 cにみられるように振動の周波数スペクトルが広い領域に分布するようになる。機体の受ける流体力学的な振動・騒音はブロードな周波数成分を持つものと思われ、エンジンからの振動よりは機体の受ける流体力による振動が卓越していくものと推論できる。

製作した振動計測システムにより航空機実験における実験部の振動環境が簡便に計測・解析できることを示した。振動の振幅はおよそ0.1 Gであり、弾道飛行の前期に最大0.3 Gとなる。振動の周波数スペクトルを3 Hzから10 kHzの領域で計測解析することが可能で、航空機実験において得られる振動環境の発生源やその影響を評価した。実験ラックおよび搭載パネルの固有振動数などの機械的な特性は装置の搭載のされかたによって変わるため、本実験の結果は航空機実験の全てに一般化して適用することはできないものの、代表的な振動環境について示すことができた。

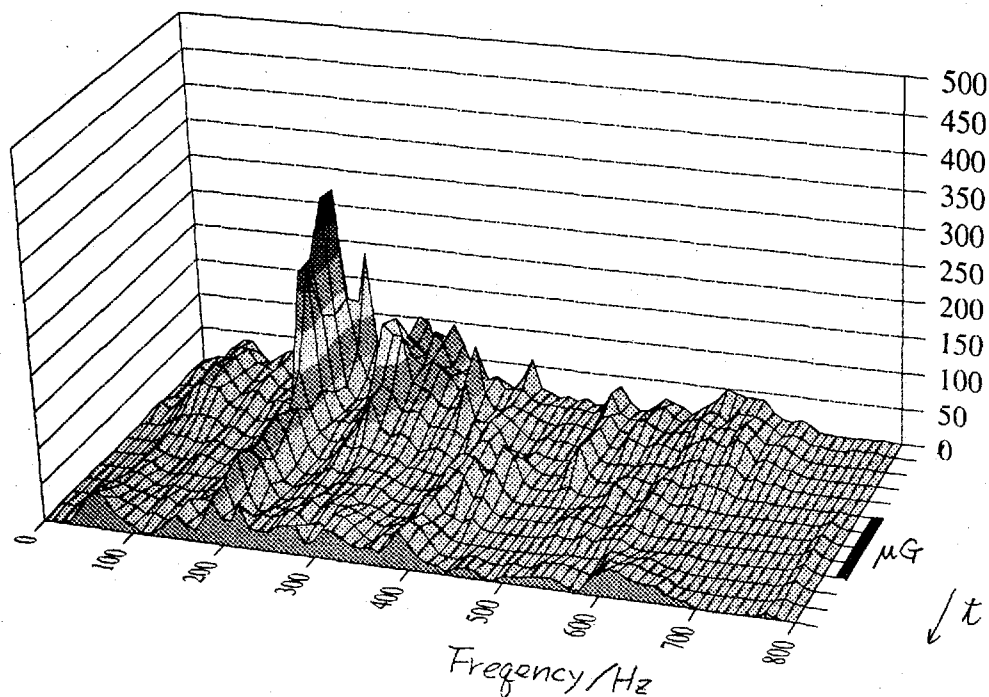


図5-5 弾道飛行時の振動の周波数スペクトルの時間変化

Fig. 5-5 Changes of Frequency Spectrum at Typical Time before, during and after Parabola.

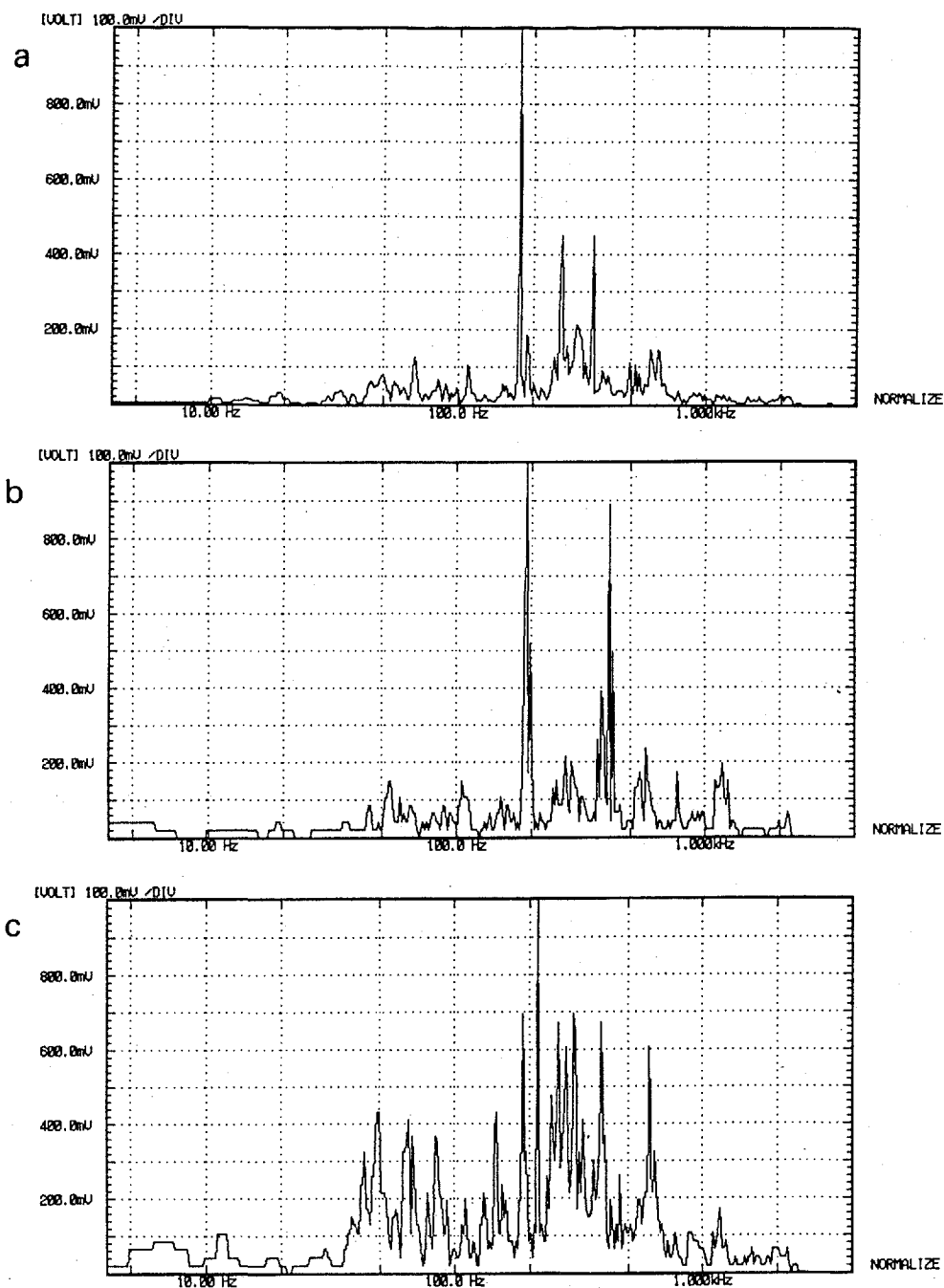


図 5 - 6 代表的時間での正規化された周波数スペクトル
 Fig. 5-6 Normalized Frequency Spectrum at Typical Time before, during and after Parabola

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。以下に得られた結果および考察を述べる。

メダカ：純系メダカH O 5および雑系メダカの成魚はともに暗視条件では回転運動を示した。しかし明視条件下ではH O 5は回転運動を示したが、雑系は回転運動を示さなかった。もう1つの純系メダカH B 3 2 Cは、回転運動を示さなかった。このことから系によって微小重力下でのメダカの行動に違いがあることが明かになった。

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。空気中では、ほとんどのイモリは、微小重力になっても水槽の底面に留まっていた。浮かび上がったイモリも観察されたが、このイモリは、四肢を体側に沿わせて身体をうねらせるという1 G水中で遊泳する場合と類似した姿勢をとった。A A E Uカセットでは、カセットの厚みがイモリの身体の幅程しかないため、微小重力になってもカセットの表面にくっついたまま泳いでいた。このことから、宇宙においてもイモリはA A E U中で産卵行動を行うことができると考えられる。

また、パラボリックフライト中の実験ラックの振動を計測した。

7. 謝辞

本実験を行うにあたり、実験操作要員として航空機に搭乗していただいた安井隆さん（東金市立西中学校）および立松律子さん（お茶の水女子大学 理学部 生物学教室）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., Magami, 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) 片柳賢一、高木和夫; 小型ビジネスジェット機による無重力飛行、第3回宇宙利用シンポジウム プロシーディング pp.26-30 (1986)
- 6) 武井文雄、端谷隆文、浅野高治、藤田省三、池上佳住、小谷健; N A S Aの航空機による無重力実験、第5回宇宙利用シンポジウム プロシーディング pp.29-33 (1988)
- 7) 武井文雄、藤田省三、池上佳住、小谷健; 航空機弾道飛行実験における微小重力環境の改善、第6回宇宙利用シンポジウム プロシーディング pp.281-285 (1988)
- 8) Monti, R., Langbein, D., and Favier, J. J.; Influence of Residual Accelerations on Fluid Physics and Materials Science Experiments, in " Fluid Sciences and Materials Science in Space ", ed. Walter, H. U., Springer-Verlag, Berlin pp.637-680 (1987).
- 9) 村上彰、高橋景一、吉村建二郎、石井直方; 放物線飛行により得られる微小重力下での *Paramecium* の遊泳行動の解析、日本宇宙生物科学会第5回大会 (1991)