

平成 16 年度厚生労働科学研究費（循環器疾患等総合研究事業）  
日本人の食事摂取基準（栄養所要量）の策定に関する研究  
主任研究者 柴田 克己 滋賀県立大学 教授

## II. 主任研究者の報告書

### 9. 宇宙環境がラットの補酵素 NAD に及ぼす影響

主任研究者 柴田克己 滋賀県立大学 教授

#### 研究要旨

宇宙環境でのナイアシン栄養について検討する上で、その補酵素型である NAD 代謝に着目して実験を行った。その結果、宇宙飛行後、肝臓中の NADP 含量が Flight Control 群の約半分以下にまで減少することが明らかになった。NADP は酸化損傷を防ぐスカベンジャーであるグルタチオンペルオキシダーゼの反応に関与している。宇宙環境では極度のストレスによって生体内が酸化され、グルタチオンペルオキシダーゼによる酸化防御機構が活発になることが考えられる。よって、宇宙飛行による肝臓中 NADP 含量の減少は、生体内でこれら酸化防御機構が起こることで NADP の必要量が高まったためではないかと考えられる。今度、宇宙でのナイアシン栄養を検討する上で、生体内酸化による NADP の必要量の増加を考慮に入れる必要があると考えられる。

## A. 目的

宇宙航空研究開発機構・宇宙化学研究本部 (ISAS/JAXA) では、約20年にわたり、大学などの研究者による幅広い分野での宇宙研究を推進しており、この機構のサポートによってさまざまな研究が行われてきた。特に宇宙環境の特徴である微小重力環境と宇宙放射線に関する研究が多く報告されており、微小重力環境による影響としては、筋肉の委縮、宇宙酔い、骨量減少、生体移動や心循環器系などへの生体変化などが、そして宇宙放射線による影響としては、活性酸素の生成増加、DNAの損傷、タンパク質の変化、脂質の過酸化などが報告されている<sup>1-3)</sup>。このように、宇宙環境ではさまざまな生体现象が起こることが明らかになってきた。しかし、宇宙栄養に関する研究はまだまだ乏しいのが現状である。そこで本研究では、宇宙環境でのナイアシン栄養を検討するため、その補酵素であるNAD代謝に着目して研究をおこなった。

## B. 研究方法

### 1) 動物の飼育方法

SD系ラットを、Grand Control群・Flight Control群・Flight群の3群に分け、1993年4月8日から4月17日の9日間、NASA通常食にて飼育した。Flight群はSTS-56計画にて9日間の宇宙飛行を行った。着陸後、それぞれ0, 24, 72時間後に解剖を行い、その後-70℃にて凍結保存した肝臓を得た。なお、この試料は、STS-107計画での試料が、事故により回収できなくなったための代

替試料である。

### 2) 肝中の酵素活性の測定方法

Quinolate phosphoribosyltransferase (QPRTase, EC 2.4.2.19)はShibataら<sup>4)</sup>が開発したHPLCを用いるnon-RI法で測定した。

#### **QPRTase 活性測定法** 《反応組成》

0.5 M KPb (pH7.0)	50 $\mu$ l
10 mM QA	50 $\mu$ l
10 mM PRPP	50 $\mu$ l
100 mM MgCl <sub>2</sub>	10 $\mu$ l
水	290 $\mu$ l
Enzyme source	50 $\mu$ l
<hr/>	
Total	500 $\mu$ l

上記の試薬 (Enzyme source 以外) をねじロマイクロチューブに順次入れておく

↓

Enzyme source を入れ、手で3回上下逆さにした後、37℃で1時間インキュベーション

↓

5分間、沸騰水中に放置

↓

5分以上、氷中に放置

↓

5分間遠心分離 (4℃, 10,000 rpm)

↓

上清を0.45  $\mu$ mのフィルターでろ過

↓

HPLCにて分析

<測定条件>

移動相: 0.5 M KPb (pH 7.0)	20 ml
tetra- <i>n</i> -butylammonium bromide	1.47 g
アセトニトリル	100 ml

超純水で 1 L にする  
流速： 1.0 ml / min

カラム： TOSOH TSK-GEL  
ODS-80Ts(φ 4.6×250 mm)  
カラム温度： 40 °C  
検出器： SHIMADZU LC-9A  
検出方法： UV 法 (265 nm)

<計算方法>

QPRase activity ( nmol / hr / g of liver )  
=(NaMN の面積 / 74000×500 / 20×  
50000 / 500

<試薬作成方法>

**10 mM QA** (冷蔵保存)

Quinolinic acid=167.13 (半井化学薬品株式会社, 室温保存)

$$167.13 \times 0.01 \times 0.01 = 0.016713$$

QA を 0.0167 g 秤量し, 水を 10 ml 加え,  
スターラーで攪拌した.

**10 mM PRPP** (冷蔵保存)

5-Phosphoribosyl-1-pyrophosphate=390.1

(和光純薬株式会社, 凍結保存)

$$390.1 \times 0.01 \times 0.01 = 0.03901$$

PRPP を 0.0390 g 秤量し, 水を 10 ml 加えた.

**100 mM MgCl<sub>2</sub>** (冷蔵保存)

Magnesium Chloride Hexahydrate=95.2

(和光純薬株式会社, 凍結保存)

$$95.21 \times 0.1 \times 0.01 = 0.0952$$

MgCl<sub>2</sub> を 0.0952 g 秤量し, 水を 10 ml 加えた.

α -Amino- β -carboxymuconate- ε  
-semialdehyde decarboxylase (ACMSDase,

EC 4.1.1.45)は Ichiyama らの<sup>5)</sup>方法に従って  
測定した.

### ACMSDase 活性測定法

《反応組成》

3.3mM 3-Hydroxyanthranilic acid	10 μl
0.2M Tris-acetate buffer,pH8.0	500 μl
H <sub>2</sub> O	800 μl
<hr/>	
Total	1400μl

上記の試薬を石英セル (マイクロセル) に  
分注し, よく攪拌して 360 nm の吸光度の 0  
合わせをした.

↓

3-HAO 源を 100 μl 加え, 吸光度の上昇  
が止まり若干低下した時点で ACMSDase を  
100 μl 加えた.

(傾きが測定できれば終了)

※ 対象として, 50 mM KPB, pH7.0  
を 100 μl 加えたものを行った.

<計算方法>

ACMS の分子吸光係数 ε 360 nm=45000  
(1 時間の 360 nm の吸光度の変化/45000)  
×(1.56×10<sup>-3</sup>)×(5.0/0.1)×10<sup>6</sup>  
=\_\_\_\_\_μmol/hr/g of liver

すなわち, 1 時間の 360nm の吸光度の変  
化×100=\_\_\_\_\_μmol/hr/g of liver

<試薬作成方法>

**0.2M Tris-asetate buffer(pH8.0)** (冷蔵保  
存)

Tris (トリスヒドロキシメチルアミノメタ  
ン) = 121.14

(nacalai tesque, 室温保存)

$$121.14 \times 0.2 \times 0.5 = 12.114 \text{ (g)}$$

1. Tris を 12.114 g 取り, 水を 400 ml 程度加えた.

2. 1 M 酢酸にて pH8.0 に調節し, 水で 500 ml にメスアップした.

### **0.01M Tris-asetate buffer(pH8.0)**

0.2M Tris-asetate buffer(pH8.0)を 10ml 取り, 水を 190ml 加えた.

**3.3mM 3-Hydroxyanthranilic acid** …使用直前に作成

3-ヒドロキシアンスラニル酸=153.14

(東京化成工業株式会社)

$$153.14 \times 0.0033 \times 0.001 \times$$

1000=5.05(mg)

1. 10ml 容三角フラスコに 3-ヒドロキシアンスラニル酸を 0.005g 秤量し,

0.01M Tris-asetate buffer(pH8.0)を 10ml 加え攪拌した.

2. 加温後, マグネチックスターラーで攪拌し, 溶けたら水中で保存した.

**1M 酢酸** (室温保存)

Acetic acid=60.05 (和光純薬工業株式会社)

$$60.05 \times 1 \times 1 = 60.05$$

酢酸を 60.05g 取り, 水にて 1000ml にメスアップした.

### **3-HAO 源**

1. ラット肝臓アセトンパウダー1g に 0.01M Tris-asetate buffer,pH8.0 を 10ml 加え 30 分間室温でスターラーにて攪拌した.

2. 遠心分離した. (15,000rpm, 10min)

3. 上清を 3-HAO 源とした.

3) 血中および肝中 NAD・NADP 定量方法 (6-9)

組織を約 0.25g 正確に秤量し, 20 倍量の抽出用緩衝液を加え, ウルトラディスペーサーで完全に均一化した. この均一化液 200 $\mu$ l を, 1000 $\mu$ l の 100mM ニコチンアミド-50mMKPB(pH6.0)を入れたネジ付きマイクロチューブに加え, 90°Cで 1.5 分間加熱処理した. 遠心上清を肝臓中 NAD・NADP 含量の測定に用いた.

NAD, NADP 測定方法

<試薬>

ニりん酸ナトリウム十水和物: 和光純薬工業

塩酸セミカルバジド (Semicarbazide Hydrochloride): 和光純薬工業 (株)

MTT

[ 3-(4,5-Dimethyl-2-thiazolyl)-2,5-diphenyltetrazolium Bromide ] : 東京化成工業 (株)

PMS (Phenazine Methosulfate): 和光純薬工業 (株)

ADH (Alcohol dehydrogenase from yeast): オリエンタル酵母 (株)

グリシルグリシン: 和光純薬工業 (株)

グリセロール: 和光純薬工業 (株)

ニコチンアミド: 和光純薬工業 (株)

エタノール: 和光純薬工業 (株)

リン酸二水素カリウム (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>): nacalaitesque

リン酸水素二カリウム (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>): nacalaitesque

$\beta$ -NAD<sup>+</sup> ( $\beta$ -Nicotinamide adenine dinucleotide,oxidized from  $\beta$ -Diphosphory nucleotide,oxidized from coenzyme I,oxidized from): オリエンタル酵母 (株)

Glucose-6-phosphate (G-6-P) : SIGMA  
 $\beta$ -NADP<sup>+</sup> ( $\beta$ -Nicotinamide-adenine  
dinucleotide phosphate,oxidized from  
triphosphoyridine nucleotide,oxidized from  
coenzyme II ,oxidized from) : オリエンタル酵  
母 (株)

Glucose-6-phosphate dehydrogenase  
(G-6-PDH) : SIGMA  
塩化マグネシウム六水和物 (MgCl<sub>2</sub> ·  
6H<sub>2</sub>O) : 和光純薬工業 (株)  
<試薬の調製>

#### **0.1 M ピロリン酸 Buffer ( pH8.8 )**

ピロリン酸ナトリウム十水和物を 4.46 g,  
塩酸セミカルバジドを 0.5 g 秤量し, 約 80 ml  
の超純水に溶解した. 1 M · NaOH を加えて  
pH を 8.8 に調整してから, 超純水を加え 100  
ml にした.

#### **2.5 mg/ml MTT**

MTT を 0.125 g とり 50 ml の超純水を加え  
溶かした. 褐色瓶に入れ冷蔵で約 3 ヶ月保  
管可能.

#### **1 mg/ml PMS**

PMS を 0.01 g とり 10 ml の超純水を加え溶  
かした. 光に弱いので褐色瓶に入れた. 用  
事調製.

#### **50%グリセロール**

50ml のグリセロールに 50ml の水を加えて  
攪拌する. -25°C で保存.

#### **1500 IU/ml ADH 原液**

15000 IU の ADH がはいっているビンに  
10ml の 50%グリセロール (-25°C に氷冷) を  
加え泡立えない様にまぜる. 一晩-25°C で放  
置して溶解した.

使用直前に, 上記 ADH 原液を 50 mM KPB  
(pH 7.0) で 20 倍希釈した.

#### **75 IU/ml ADH**

ADH 原液を 50 mM KPB (pH 7.0) で 20 倍  
希釈した.

#### **NAD 測定用 Buffer (pH 7.4)**

0.1 M ニコチンアミドと 0.5 M エタノール  
を含む 65 mM のグリシルグリシン- NaOH  
Buffer (pH 7.4)

8.59 g のグリシルグリシンと 12.21 g のニ  
コチンアミドをビーカーに入れ, 超純水を  
約 800 ml と 23.0 g のエタノールを加え溶解  
した. 1 M NaOH を用いて pH を 7.4 に合わ  
せてから, 超純水で 1000 ml にした.

#### **0.5 M KPB (pH 6.0)**

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> を 6.85 g とり 80 ml の超純水を加  
え完全に溶解した後超純水で 100 ml にした.  
(0.5 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)

K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> を 8.71 g とり 80 ml の超純水を加  
え完全に溶解した後超純水で 100 ml にした.  
(0.5 M K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)

0.5 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> に 0.5 M K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 混ぜ合わせ,  
pH を 6.0 に調整した.

#### **抽出用 Buffer**

0.1 M ニコチンアミドを含む 0.5 M KPB  
Buffer (pH 6.0)

0.5 M KPB (pH 6.0) 100 ml にニコチンアミ  
ドを 12.2 g 加え, 溶けたら超純水を加え  
1000 ml にした.

#### **10 $\mu$ g/ml NAD<sup>+</sup>**

$\beta$ -NAD<sup>+</sup> を 0.005 g とり 5 ml の超純水を加  
えた. (1 mg/ml NAD<sup>+</sup> 原液)

NAD<sup>+</sup>原液を超純水で 100 倍希釈して使用.

-25°Cで保存した.

### 10 mM G-6-P

G-6-P を 0.091 g をとり, 超純水を 30 ml 加え溶解した. 4°Cで保存した.

### 1µg/ml NAD<sup>+</sup>

NAD<sup>+</sup>を 0.01 g 秤量し 10 ml の超純水に溶かした. (1 mg/ml NAD<sup>+</sup>原液) NAD<sup>+</sup>原液を超純水で 1000 倍希釈して使用した. -25°Cで保存した.

### 500 IU/ml G-6-PDH 原液

500 IU /ml 50%グリセロールとなるように, G-6-PDH のビンに直接 50%グリセロール (-25°Cに冷却してあること)を加えて溶解した.

### 2 IU/ml G-6-PDH

G-6-PDH 原液を 50 mM KPB (pH 7.0)で 250 倍希釈した.

### 0.2 M MgCl<sub>2</sub>

MgCl<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O を 19.04 g とり超純水を加えて 100 ml にした.

### <測定機器>

測定に使用したマイクロプレートリーダー用吸光測定装置は LabSystem の Multiskan Ascent (製造元: Thermo Bioanalysis Company, FIN-00811 Helsinki, Finland.)を使用し, 570nm のフィルターを使用した.

本機器は, 振とう機能, インキュベーション機能がついており, 96 穴のスキャンを 7 秒で行うことができる. さらに, 振とう, インキュベーション, 測定の時間, データの保存はあらかじめプログラミングができるので, ピペット操作以外はすべて自動で行うことができる. マイクロプレートタイ

ターは住友ベークライト (株) の ELISA 用プレートを使用した.

### <測定方法>

=操作上の注意=

MTT, PMS は光に弱いいため, なるべく暗い部屋で実験を行った.

=NAD の測定法=

### NAD<sup>+</sup>の絶対量測定法

	Reference	Sample
0.1 M ピロリン酸 Buffer (pH8.8) (ml)	0.5	0.5
超純水(ml)	1.0	0
10 µg/ml NAD <sup>+</sup> (ml)	0	1.0
エタノール (µl)	10	10

(1) 上記試薬をマイクロセルに順次入れ混和し, 分光光度計で 340 nm の波長で 0 合わせをした.

(2) ADH(75 IU/ml)を 10µl ずつ入れ混和し, 340 nm の波長で最高値を測定した.

(3) NADH の 340nm の分子吸光係数 6200 から, 真の NAD<sup>+</sup>値を求めた.

正確な濃度を求めた NAD<sup>+</sup>を使用して NAD<sup>+</sup>測定のための検量線を作製した.

### 検量線作成

基準とする 10 µg/ml NAD<sup>+</sup>の濃度や ADH の活性条件が異なるため, サンプル測定時は検量線を書いた.

v 超純水 (µl)	1000	900	800	700	600	500
10 µg/ml NAD <sup>+</sup> (µl)	0	100	200	300	400	500

上記試薬のうち 10µl をサンプルのところに

置き換えて、同様に操作した。

反応組成 (300 $\mu$ l)	
2.5mg/ml MTT	10 $\mu$ l
1mg/ml PMS	80 $\mu$ l
測定用 Buffer(pH 7.4)	150 $\mu$ l
サンプル	10 $\mu$ l

- (1) 上記試薬を Buffer まで 96well のプレートに順次 8 連式ピペットマンを使用して入れていった。10 秒間、960rpm で振とう後、5 分間 37°C でプレインキュベーションを行った後、570nm の吸光度を測定した。(測定①)
- (2) 測定後、上記試薬のサンプルを順次入れていった。10 秒間、960rpm で振とう後、直ちに 570nm の吸光度を測定した。(測定②)
- (3) 5 分間 37°C で再度プレインキュベーションを行った後、570nm の吸光度を測定した。(測定③)
- (4) ADH(75IU/ml)を 8 連ずつ 30 秒間隔で加え、加えるごとに 10 秒間、960rpm で振とうを行った。最後の 8 連の ADH を加え、振とう後、各々の列を正確に 37°C で 10 分間、インキュベーションした後、570nm の吸光度の測定を行った。

=NADP の測定法=

**NADP<sup>+</sup>絶対量測定法**

	Reference	Sample
測定用 Buffer (pH7.4) (ml)	0.5	0.5
10 mM G-6-P (ml)	0.2	0.2
0.2 M MgCl <sub>2</sub> (ml)	0.1	0.1
超純水 (ml)	0.5	0.46
1mg/ml NADP <sup>+</sup> (ml)	0	0.04

- (1) 上記試薬をマイクロセルに順次入れ混和し、分光光度計で 340 nm の波長で 0 合わせをした。
- (2) G-6-PDH (2 IU/ml)を 10 $\mu$ l ずつ入れ混和し、340 nm の波長で最高値を測定した。真の NADP<sup>+</sup>値を求め、検量線に用いた。

**検量線作成**

基準とする 1  $\mu$ g/ml NADP<sup>+</sup> の濃度や G-6-PDH の活性条件が異なるため、サンプル測定時は検量線を書いた。

超純水 ( $\mu$ l)	1000	900	800	700	600	500
1 $\mu$ g/ml NADP <sup>+</sup> ( $\mu$ l)	0	100	200	300	400	500

上記試薬のうち 50 $\mu$ l をサンプルのところに置き換えて、同様に操作した。

**反応組成 (300 $\mu$ l)**

2.5mg/ml MTT	10 $\mu$ l
1mg/ml PMS	80 $\mu$ l
測定用 Buffer(pH 7.4)	80 $\mu$ l
10 mM G-6-P	60 $\mu$ l

サンプル	20 $\mu$ l
G-6-PDH (2 IU/ml)	50 $\mu$ l

- (1) 上記試薬を G-6-P まで 96well のプレートに順次 8 連式ピペットマンを使用して入れていった。10 秒間、960rpm で振とう後、5 分間 37°C でプレインキュベーションを行った後、570nm の吸光度を測定した。(測定①)
- (2) 測定後、上記試薬のサンプルを順次入れていった。10 秒間、960 rpm で振とう後、直ちに 570 nm の吸光度を測定した。(測定②) 5 分間 37°C で再度プレインキュベーションを行った後、570 nm の吸光度を測定した。(測定③)
- (3) G-6-PDH (2 IU/ml) を 8 連ずつ 30 秒間隔で加え、加えるごとに 10 秒間、960 rpm で振とうを行った。最後の 8 連の G-6-PDH を加え、振とう後、各々の列を正確に 37°C で 10 分間、インキュベーションした後、570 nm の吸光度の測定を行った。

## C. 結果

### 1) 肝中の酵素活性

図 1 に示した。宇宙飛行直後、ACMSDase、QPRTase 活性が共に減少した。24 時間後には Flight Control 群に比べ活性が増加し、72 時間後には Flight Control 群と同レベルになった。

この影響は ACMSDase でより顕著に現われた。

### 2) 肝中 NAD・NADP 含量

図 2 に示した。宇宙飛行によって、肝中 NAD 含量に変化は見られなかったが、肝中 NADP 含量は Flight Control 群の半分以下にまで減少した。24 時間後には、Flight Control 群に対して NAD 含量が約 1.8 倍、NADP 含量が約 1.5 倍となり、大幅な増加傾向を示した。72 時間後には NAD 含量が約 1.4 倍、NADP 含量が約 1.3 倍となり、増加傾向を示した。

## D. 考察

生体が生命活動を営む上で、酸素は無くしてはならない存在である。酸素のほぼ 98% はエネルギー産生に有効利用されるが、残りの 2% 程度の酸素は活性酸素の発生につながり、この活性酸素の過剰生成が生体内に細胞損傷や組織障害などの酸化的損傷を引き起こす。この生体内の酸化的損傷を防ぐ酵素にグルタチオンペルオキシダーゼがあり、 $H_2O_2$  はグルタチオンペルオキシダーゼと還元型グルタチオンの作用で  $H_2O$  に変換され無毒化される。このとき還元型グルタチオンは酸化型グルタチオンとなり、NADPH は再びこの反応が行える様、酸化型グルタチオンを還元型に戻す役割を果たす。このように NADPH は細胞の酸化的損傷を防ぐ反応で重要な役割を果たしている。

実際、赤血球において NADPH は、ペントースリン酸経路上のグルコース-6-リン酸デヒドロゲナーゼの反応で産生されるため、グルコース-6-リン酸デヒドロゲナーゼ欠乏症の患者では、NADPH の産生は抑制される。

このNADPH産生抑制によりグルタチオンペルオキシダーゼの働きが抑制され、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の産生を阻害できず、その結果、酸化損傷が起こり赤血球膜の破壊、タンパク質やDNAの酸化などという致命的な症状を起こす。

このNADPHを産生するNADP<sup>+</sup>はニコチンアミドから生合成されており、そして理論上約2万回代謝されると異化され破壊することがわかっている。今回の実験では宇宙飛行によるNADPレベルの大幅な減少が見られた。これは、宇宙環境という過酷な環境で極度のストレスを受けたことで、体内での活性酸素の生成が増加し、その結果、生体内でNADPHを必要とするこのような代謝が亢進し、NADPの必要量が高まったことに起因すると考えられる。よって、宇宙環境でNADPが欠乏するとグルコース-6-リン酸デヒドロゲナーゼ欠乏症発症時に近いメカニズムを経て、赤血球膜の破壊、タンパク質やDNAの酸化などという致命的な症状を起こす可能性があると考えられる。

本研究では、宇宙環境がNAD代謝に及ぼす影響を調べた。その結果、宇宙環境ではNADPの必要量が高まることが明らかになった。そしてこれは、宇宙環境での種々のストレスによって生体内酸化が進み、それを阻止しようとする機構が働いたためであると推測できる。したがって、これらNAD・NADPの前駆体であるナイアシンの、宇宙環境での必要量は、地上での必要量に比べ高まる可能性が示唆される。

#### E. 健康危機情報

特記する情報なし

#### F. 研究発表

なし

#### G. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

##### 1. 特許予定

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

#### H. 引用文献

1. 福永哲夫 (2001) 宇宙におけるヒトの骨格筋変化, バイオメカニズム学会誌, **25**:24-28.
2. 大平充宣 (1997) 航空宇宙医学における廃用症候群 (3) 宇宙で骨格筋の変化, 総合リハビリテーション, **25**:235-241.
3. Burger EH, Klein-Nulend J (1998) Microgravity and bone cell mechanosensitivity. *Bone*, **22**,127S.
4. Shibata K, Fukuwatari T, Sugimoto E (2001) Reversed-phase high-performance liquid chromatography of nicotinic acid mononucleotide for measurement of quinolinate phosphoribosyltransferase. *J Chromatogr*, 749:281-285.
5. Ichiyama A, Nakamura S, Kawai H, Honjo

- T, Nishizuka Y, Hayaishi O, Senoh S  
(1965) Studies on the metabolism of the  
benzene ring of tryptophan in mammalian  
tissues. J Biol Chem, 240:740-749.
6. Shibata K, Murata K. (1986) Blood NAD  
as an Index of Niacin Nutrition, Nutr Int,  
2:177-181.
  7. Shibata K, Tanaka K. (1986) Simple  
Measurement of Blood NADP and Blood  
Levels of NAD and NADP in Humans,  
Agric Biol Chem, 50:2941-2942.
  8. 柴田克己, 岩井和夫 (1990) NADP 定量  
方法の改良と女子学生の血液中の  
NADP 値の訂正, ビタミン, 64:193-196.
  9. 柴田克己, 福渡 努, 土居美紀, 尾方  
進, 下岡令美, 田口寛, (2001) マイク  
ロプレートリーダーを利用した NAD  
および NADP の微量定量法, ビタミン,  
75:455-462.

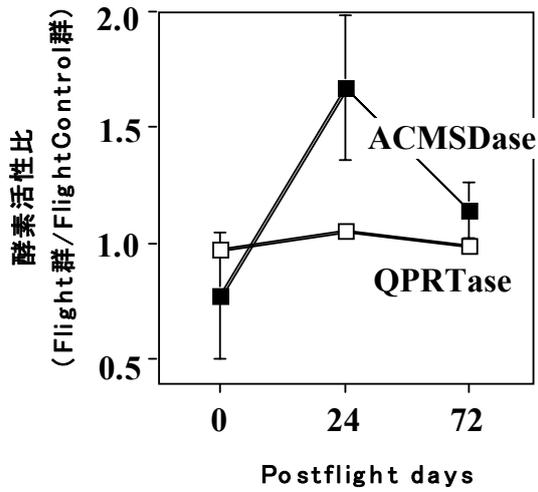
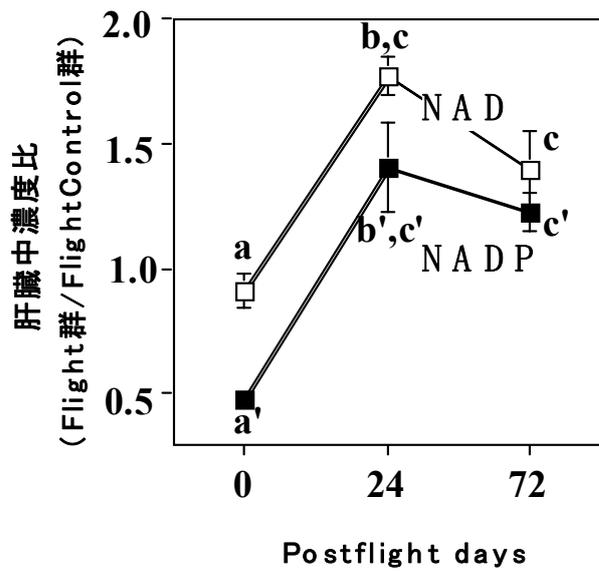


図1 宇宙飛行がトリプトファンニコチンアミド代謝調節酵素 ACMSDase, QPRTase に及ぼす影響



異なるアルファベットで有意差有り

図2 宇宙飛行が補酵素 NAD, NADP 含量に及ぼす影響