

福岡工業大学 機関リポジトリ

FITREPO

Title	生命の起源を探るための有機化合物生成宇宙暴露実験
Author(s)	三田 肇, 中山 美紀, 白水 まどか, 中川 和道
Citation	福岡工業大学総合研究機構研究所所報 第2巻 P115-P118
Issue Date	2020-2
URI	http://hdl.handle.net/11478/1493
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher

Fukuoka Institute of Technology

生命の起源を探るための有機化合物生成宇宙曝露実験

三田 肇 (工学部生命環境化学科)

中山 美紀 (工学部生命環境化学科)

白水 まどか (工学部生命環境化学科)

中川 和道 (神戸大学名誉教授)

Cosmic Exposure Experiment for Study of Origins of Life

Hajime MITA (Department of Life, Environment and Applied Chemistry, Faculty of Engineering)

Miki NAKAYAMA (Department of Life, Environment and Applied Chemistry, Faculty of Engineering)

Madoka SHIROMIZU (Department of Life, Environment and Applied Chemistry, Faculty of Engineering)

Kazumichi NAKAGAWA (University of Kobe)

Abstract

Second space exposure experiment “TANPOPO 2” on the International Space Station was planned for study of origin of life. Authors were tried to synthesis peptides those are condensation products of amino acids, because peptides syntheses are the most important step for the producing proteins on the primitive Earth before the first life apearance. Although, in our preliminary experiments in the first space exposure experiment “TANPOPO”, authors found dialanine that is a dipeptide from amino acid, alanine, the experimental result was not enough to conclude peptide formed in the space. Therefore, precise experiments were planned in the “TANPOPO2”. Stable isotope labeled alanine was used for preventing the biological contamination, three different patterns of amino acids were chosen to conclude wide variety peptides formation. In this experiment, thin film formation apparatus using vaporization of amino acids, spectrometry of vacuum ultraviolet adsorption were prepared for the space experiment. And the space exposure experiment was started from August, 2019.

Keywords : Exposure experiment, amino acid, peptide

1. 序論

地球上のすべての生物体は、タンパク質・脂質・核酸などの有機物で構成されている。それらは、体の内外からの刺激を受け遺伝子の情報により化学反応により合成されている。このため、生物体は、非常に精巧な化学工場である。地球上での最初の生命の誕生は、無機物や簡単な有機物からより複雑で機能を備えた有機物へ物質が進化したと考えられている。

生命体は、非常に多くの有機物から構成されているが、主なものとして、遺伝を司る核酸、代謝を司るタンパク質、外界との区別を司る脂質が挙げられる。これらの中で、生命の誕生に重要な役割を果たす有機物が何であるかは明らかではないが大別すると、核酸とタンパク質がその候補物質として考えられている。1989年にノーベル化学賞を獲得したトーマス・チェック、シドニー・アルトマンにより、

核酸の一種である RNA にも触媒活性をもつことが示されたから、核酸 (RNA) が先に登場したという RNA ワールド

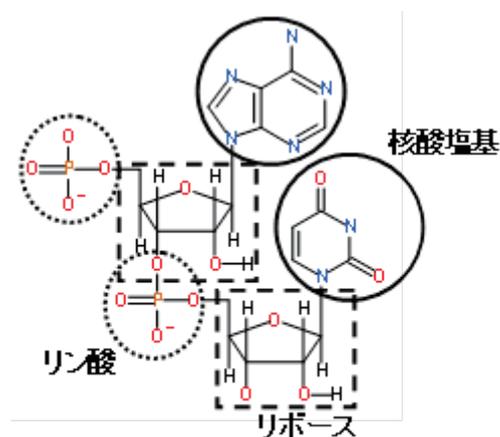


Fig. 1 RNAの化学構造

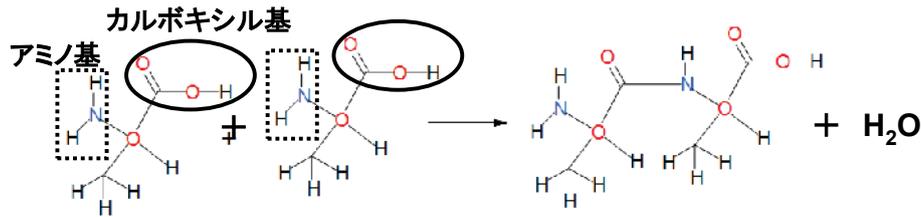


Fig. 2 アミノ酸の縮合

ド仮説を唱える科学者が多くなっている。しかし、RNAは、核酸塩基・糖（リボース）・リン酸の3種類の化学物質が化学結合してできるヌクレオチドが、いくつも繋がった非常に複雑で特異的な立体構造をした化学物質であり（Fig. 1）、原始地球環境で容易に生成するとは考えにくい。一方、タンパク質は、アミノ酸がいくつも繋がった化学物質であり、アミノ酸は、様々な原始地球や宇宙環境を模擬した実験室内の模擬実験で合成が報告されており、宇宙物質である炭素質隕石 [1, 2 など]・月の石 [2, 3]・彗星塵 [4] から検出されている。このため、RNAに比べると原始地球での存在が容易であったと考えられる。そこで、タンパク質の生成に着目して研究を進めることにした。

アミノ酸が繋がってタンパク質を作る反応は、片方のアミノ酸のアミノ基と、他方のアミノ酸のカルボキシル基が結合し、水が外れる反応である（Fig. 2）。水中では、逆反応であるタンパク質に豊富な水が結合しアミノ酸への分解反応が優位に進み、吸熱反応であり外部よりエネルギーを加えなければいけない反応であり、自然界で容易に進む反応ではない。しかし、生物誕生前の環境でも起こると期待される反応系がいくつか報告されている。例えば、海底温泉である海底熱水噴出孔を模して、アミノ酸水溶液を非常に短時間高温環境で加熱した後、冷水中に投入すると、アミノ酸の縮合が進行する [6]。また、アミノ酸を含む岩石を高速で衝突することでもアミノ酸が縮合する [7]。さらに、尿素とアミノ酸の混合物を 140°C 程度に加熱することで、多くの種類のアミノ酸の縮合体が得られること [8,9]、アミノ酸の一種であるアスパラギン酸の水溶液を 110°C で加熱しても縮合体が得られること [10]、リンゴ酸モノアンモニウム塩を 180°C で加熱熔融することでポリアスパラギン酸が生成することなども報告されている。さらに、アミノ酸薄

膜に軟 X 線を照射することでも、ジペプチドが生成することが報告されている [11]。

ところで、現在の地上にはオゾン層の存在により紫外線がほとんど降り注がない。しかし、オゾン層は植物が生まれたことで大気中に酸素が蓄積した後に生成しているので、原始地球環境では、紫外線が豊富に地上まで届いたと考えられている。そこで、原始地球環境では、紫外線によりアミノ酸が縮合しペプチドが生成した可能性があったと考えた。一方で、原始地球環境での化学進化を探るために、「たんぼぼ計画」と呼ばれる宇宙実験が行われている [12]。この「たんぼぼ計画」では、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」の曝露部を用いた日本で行われた最初のアストロバイオロジー実験である。この中では、宇宙から地上に降り注ぐ宇宙塵や地球から舞い上げられた地球由来の塵を捕獲し、宇宙が運ばれる化学物質や地上から運ばれた微生物の存在を明らかにすることともに、微生物や有機物を宇宙環境に曝露し、その変化を探ることなどを目的に実施された。2015年4月に打ち上げて、1年ごとに曝露した試料を持ち帰り、最大3年間の曝露を終え、現在解析を進めているところである [13]。これまでに、アラニンの分解反応から紫外線照射量を求めるための実験試料を分析したところ、アラニンの二量体が存在していることが示唆された。そこで、さらに国際宇宙ステーションの曝露部を用いた原始地球を模擬した環境中でのペプチド生成の可能性を検討することにした。

本研究期間における目的は、国際宇宙ステーションでの新たなアミノ酸の縮合実験を実施するために必要なアミノ酸薄膜試料を作成し、実験で生成が期待されるジペプチドの生成を確認するための分析方法を確立することにある。

先の「たんぼぼ計画」では、高速液体クロマトグラフィ

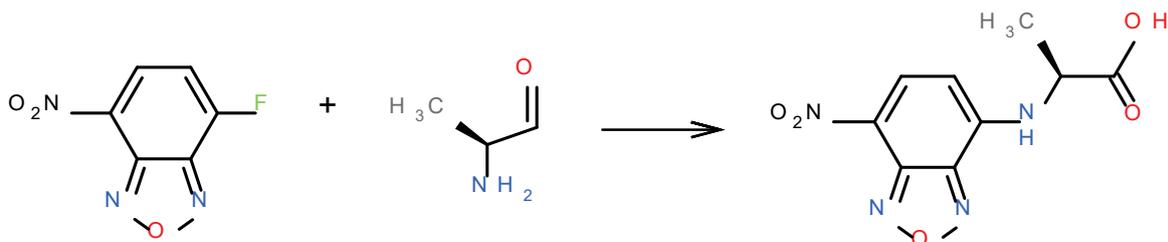


Fig.3 NBD-F を用いたアミノ酸の蛍光誘導体化 [16]

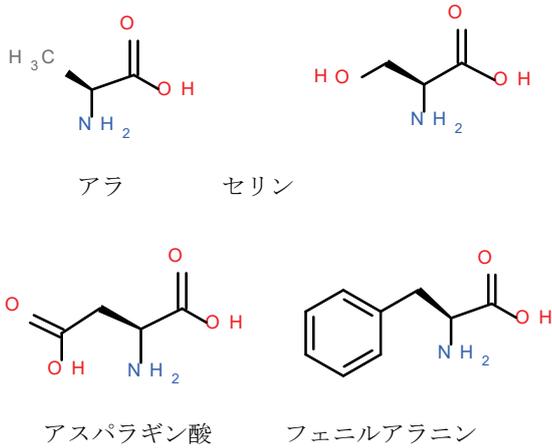


Fig. 4 実験に使用したアミノ酸

ー (HPLC) を用いた分析を行った。生成量が必ずしも多くないこともあり、HPLC の分析のみでは、目的とするジペプチド以外の化合物が、目的とするジペプチドと同じ溶出時間に検出された可能性や、実験上の汚染による可能性も捨てきれない。

2. 地上実験

今回は、ジペプチドの生成をより正確に確認するために、安定同位体でラベルしたアラニンを原料のアミノ酸として用い、生成物の質量分析 (LC-MS) も実施することにした。これは、自然界に存在するアラニンの分子量は 89 であるが、分子量が 92 のアラニンを原料に用い、生成物の分子量を測定することで、汚染ではなく仕込んだ原料アミノ酸を用いて生成された化合物であることが証明できるというものがある。さらに、前回は遊離体のアミノ酸やジペプチドの分析を行ったが、遊離体のままでは検出感が低いことと、構造化学的にクロマトグラフィーにおける分離が悪くなる。そこで、蛍光誘導体化 (Fig. 3) を行うことで、生成物の分離を向上させ、検出感をたかくすることでも、より信頼性の高い分析を行うことにし、そのための分析条件の検証を行うことにした。

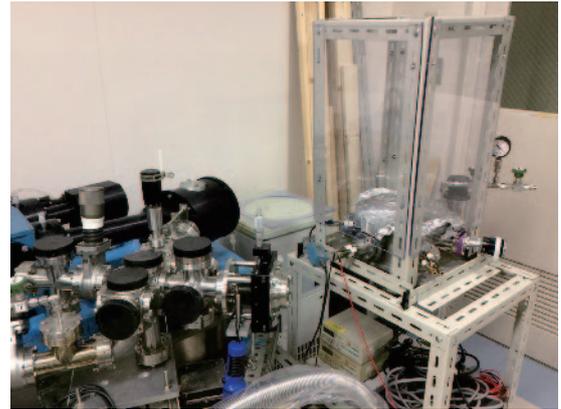


Fig. 5 アミノ酸薄膜生成装置

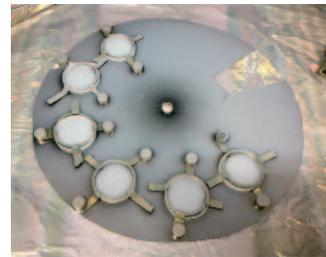


Fig. 6 円盤状に複数の基盤上に均一な薄膜を蒸着したアミノ酸薄膜

さらに、前回は原料となるアミノ酸として、アラニンのみを用いたが、アラニンに加えてセリン、アスパラギン酸、フェニルアラニンを加えた共重合実験も実施することにした (Fig. 4)。タンパク質は、20 種類のアミノ酸が共重合したものであり、単一のアミノ酸が縮重合しただけでは、様々な機能を有するタンパク質を作ることはできない。そこで、

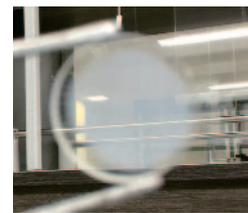


Fig. 8 作成したアミノ酸蒸着膜

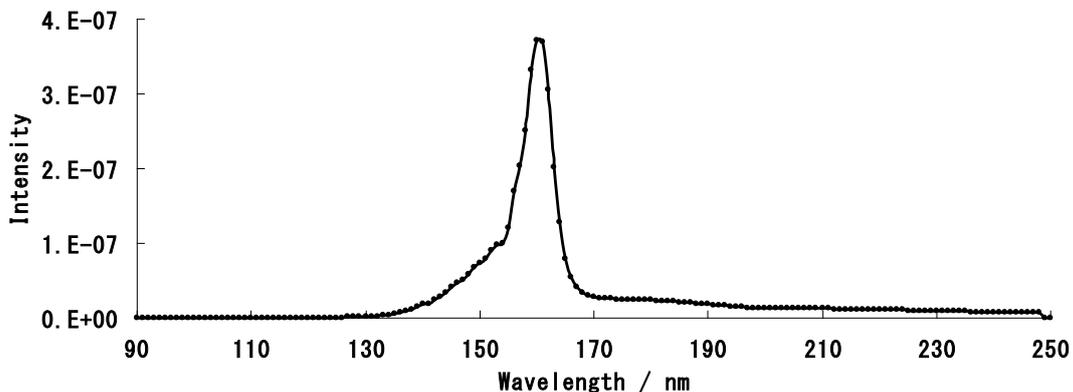


Fig. 7 フェニルアラニン薄膜の真空紫外領域の UV 吸収スペクトル



Fig. 9 たんぽぽ2曝露パネル（たんぽぽ2チーム）左：20個の異なる試料がセットされており、うち5個に本実験で準備したアミノ酸薄膜試料がセットされている。右：別角度から撮影した曝露パネル。正面の目盛りは温度計

複数のアミノ酸が共重合することが必要になるが、同時に多くのアミノ酸を加えると解析が複雑になりすぎるので、今回は異なる2種のアミノ酸を用いることにした。アラニンは中性の官能基をもたないアミノ酸であるため、何らかの機能発現も期待して、特徴的な官能基を有するアミノ酸として、中性で水酸基を有するセリン、酸性でカルボキシル基を有するアミノ酸であるアスパラギン酸、紫外線の吸収波長に特徴的なアミノ酸であるフェニルアラニンを選択した。

「たんぽぽ計画」におけるアミノ酸薄膜の製作は、神戸大学大学院人間発達学研究所中川研究室で実施されてきた。しかし、本報告の共著者でもある中川が退官したため、神戸大学において薄膜製作が行えなくなった。そこで、アミノ酸薄膜生成装置を本学総合研究機構食品医薬品研究センターに、神戸大学より移設した部品を使用し、異なる2種のアミノ酸を含んだアミノ酸薄膜を生成することができるように改良した装置を作製した (Fig. 5)。この装置は、高真空 (10^{-5} Torr) に保った反応容器内のヒーター上にアミノ酸粉末をセットし、アミノ酸が分解しない温度で加熱することで、その上部に設置した試料基板 (MgF₂) にアミノ酸薄膜を蒸着するものである。複数の試料基板に均一な厚さのアミノ酸薄膜を蒸着するために、試料基板を回転円盤状にセットしたことが特徴になっている (Fig. 6) [13]。

さらに、宇宙環境では、一般の化学実験で用いられている200-380 nmの紫外線に加えて200 nm以下の真空紫外線の照射も受けている。そこで、真空紫外線領域のアミノ酸など試験試料の吸収スペクトルを求めることも重要になる。そこで、中川らが作成した真空紫外分光器 (90-250 nm) [14] も本学総合研究機構食品医薬品研究センターに設置した。今回の実験で用いるフェニルアラニンのUVスペクトルを Fig.7 に示したが、本装置も運用可能な状態に準備を終えた。

3. 宇宙曝露実験

地上実験で整備した機材などを用いて宇宙実験用の試料の作成を行った。本学の赤外分光分析 (FT-IR) を用いて、薄膜中を20箇所微小領域に分けてそれぞれの地点の赤外

吸収スペクトルを測定することで想定通りの均一なアミノ酸薄膜 (Fig. 8) を生成することができたことを確認した。試料の作成を終えることができ、他の研究チームの試料とともに新たな宇宙曝露実験として「たんぽぽ2」が計画され、2019年3月末に宇宙航空研究開発機構に曝露試料を引き渡した。(Fig. 9)。その後、アメリカ航空宇宙局に移送され、2019年7月25日にSpaceX社のDragon補給船18号機により国際宇宙ステーションに運ばれ、8月19日より宇宙曝露が開始された。

4. 謝辞

本研究の一部は、2018年度福岡工業大学総合研究機構の研究支援制度、科学研究補助金・基盤研究 (B) 16H04823、17H02991 の助成を受けて実施しました。ここに感謝申し上げます。

(2019年10月18日 受付)

参考文献

1. Kvenvolden, K. et al.: Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. Vol. 68, 1971, pp.486-490.
2. Shimoyama, A. et al.: Nature Vol. 282, 1979, pp.394-396.
3. Harada, K. et al.: Science Vol. 173, 1971, pp.433-435.
4. Nagy, B. et al.: Nature Vol. 232, 1971, pp.94-98.
5. Elsilá, J. E. et al.: Meteorit. Planet. Sci., Vol. 44, 2009, pp. 1323-1330.
6. Imai et al.: Science Vol. 283, 1999, pp.831-833.
7. Otake, T. et al.: Astrobiology Vol. 11, 2011, pp.799-813.
8. Terasaki et al.: Chem. Lett., 2002, pp.480-481.
9. Mita et al.: Int. J. Astrobiol. Vol. 4, 2005, pp.145-154.
10. Munegumi et al.: Viva Origino, Vol. 22, 1994, pp.109-125.
11. Kaneko, F. et al.: J. Elec. Spec. Rel. Phen. Vol.144-147, 2005, pp. 291-294.
12. Yamagishi, A. et al.: Trans. Jpn. Soc. Aeronaut. Space Sci., Space Technol. Jpn., Vol. 7, 2009, pp. Tk_49.
13. 三田肇, 癸生川陽子: 生物工学会誌, Vol. 96, 2018, pp.689-692.
14. 田邊真依子: 神戸大学修士論文 (2011).
15. 泉雄大: Viva Origino Vol. 36, 2008, pp.61-65.
16. Imai, K. and Watanabe, Y.: Anal. Chim. Acta Vol. 130, 1981, pp.377-383.