HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	星間での複雑有機物の生成と変成 ： 生命の素材は宇宙でつくられた
Author(s)	小林, 憲正; 遠西, 寿子; 坪井, 大樹 他
Description	1章 分子雲における氷と低温化学過程
Citation	低温科学, 66, 39-46
Issue Date	2008-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/34708
Type	departmental bulletin paper
File Information	KOBAKEN.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

星間での複雑有機物の生成と変成
―― 生命の素材は宇宙でつくられた ――

小林　憲正，遠西　寿子，坪井　大樹，酒井　貴博，金子　竹男，吉田　　聡*，
高野　淑識**，高橋　淳一***　横浜国立大学大学院工学研究院，放射線医学総合研究所*，海洋研究開発機構**，NTT マイクロシステムインテグレーション研究所***

炭素質コンドライトや彗星中に種々の複雑有機物が検出されていることから，地球外有機物が生命の誕生に重要な役割を果たした可能性が議論されている．隕石・彗星中有機物の起源としては，分子雲中の星間塵アイスマントル中で宇宙線・紫外線エネルギーにより生成したとするモデルが提案されている．われわれは模擬星間物質に重粒子線を照射することにより高分子状の複雑有機物に結合したアミノ酸前駆体が生成することを見いだした．このような高分子状結合型アミノ酸は遊離アミノ酸と比較して宇宙環境で安定であること，円偏光照射によりアミノ酸エナンチオ過剰を生じうることなどがわかった．これらの知見をもとに生命の起源にいたる新たな化学進化シナリオを提案する．

1．はじめに

生命の誕生以前に生体有機物の存在は必須である．すなわち無生物的に生体有機物が合成されなければならない．この無生物的な物質の進化は化学進化と呼ばれている．化学進化のエネルギー源としては，化学進化を想定した初の模擬実験として有名なミラーの実験[1]のような放電をはじめとして，火山の熱[2]，太陽からの紫外線[3]などが考えられてきた．原始地球大気がメタンやアンモニアを含む「強還元型」であった場合，これらのエネルギーで多量のアミノ酸が生成することが室内実験で示されてきた．

しかし，近年，生命誕生時の地球の大気は強還元型ではなく，二酸化炭素・一酸化炭素・窒素などを含む弱還元的なものであったと考えられるようになった．この場合，アミノ酸などの生体有機物は宇宙線[4]や隕石衝突時の高温プラズマ環境[5]での生成は考えられるものの，従来考えられていたほどの生成量は見こめず，必然的に地球外からの有機物の供給を考えなければならなくなった．

原始地球には現在よりもはるかに多い頻度で隕石や彗星が衝突したとされる[6]．炭素を多く含む隕石「炭素質コンドライト」の抽出物からはGC/MSなどで数十種類のアミノ酸[7]や，核酸塩基[8]などが検出されている．ハレー彗星のダストの質量分析[9]や，スターダスト計画による彗星ダストの採取・分析[10]により，彗星中にも複雑な有機物が含まれることが確認されている．

2．星間塵上でのアミノ酸前駆体の生成

隕石や彗星中の有機物はどこでどのようにしてできたのだろうか．タギッシュレーク隕石中の有機物の同位体分析などから，隕石中の有機物は極めて低温で，すなわち太陽系ができる前に生成したことが強く示唆されている[11]．星間での有機物生成機構は数多く提案されているが，ここではグリーンバーグ（J. M. Greenberg）のモデル[12]を取り上げる．

分子雲中は恒星の光が入り込めないために低温（10–20 K程度）のため，星間塵上には水や一酸化炭素，メタノール，メタン，アンモニアなどが凍結して「アイスマントル」を作っている（図1）．これに宇宙線や，宇宙線と物質との相互作用で生じた紫外線などが作用して有機物が生成した可能性が考えられる．分子雲を検証するために，様々な模擬実験が行われた．

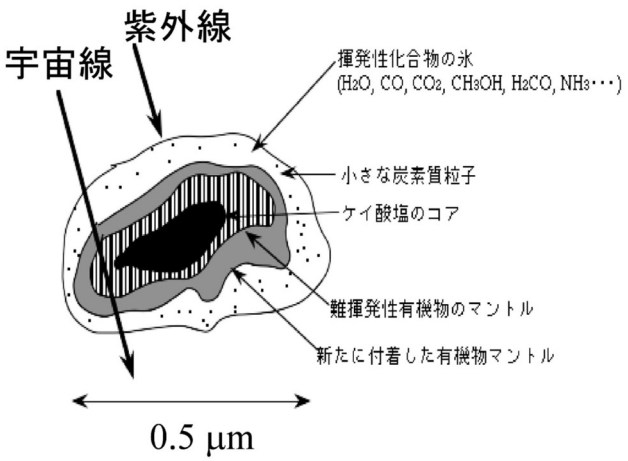

図1：星間塵アイスマントル中での有機物の生成

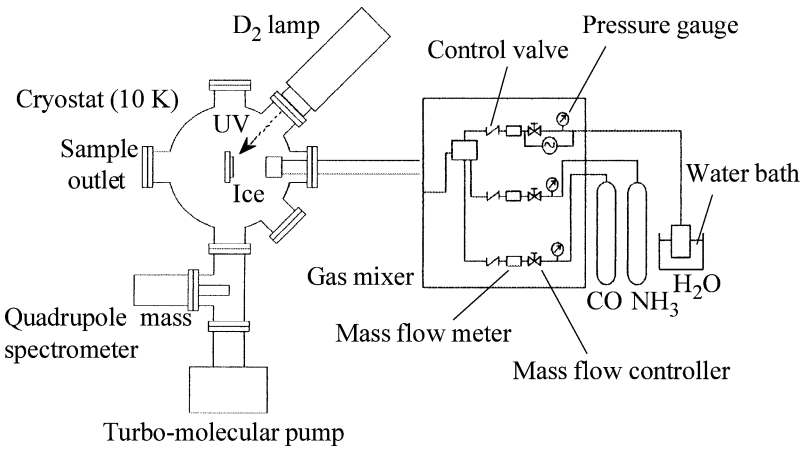

図 2 ：模擬星間塵アイスマントルへの紫外線照射実験（文献 16 より転載）

代表的な実験装置を図 2 に示す．高真空に保ったクライオスタット中に置かれた金属基板に出発材料（例えば一酸化炭素・アンモニア・水蒸気の混合気体）を吹き付け，氷をつくる．これに重水素ランプなどからの紫外線，もしくは加速器からの高エネルギー陽子線を照射する．照射後，基板上の生成物を取り出し，そのまま，あるいは酸加水分解後にアミノ酸分析を行う．このような実験により，紫外線照射[13−16]や陽子線照射[17,18]により凍結した模擬星間物質からアミノ酸前駆体（加水分解によりアミノ酸が生じる物質）が生成することが報告された．

3．星間塵上での複雑有機物の生成

従来の実験では一酸化炭素を炭素源として用いたため，作ることのできる氷の量が制限され，加水分解前の「アミノ酸前駆体」に関する考察が困難であった．われわれは，模擬星間塵有機物としてメタノール・アンモニア・水の混合物（液相・固相）を用い，これに宇宙線の効果を模擬するため，放射線医学総合研究所の重粒子加速器 HIMAC からの高エネルギー重粒子線（例えば 290 MeV/u の炭素イオン線）を照射した（図 3 参照）．酸加水分解後にイオン交換クロマトグラフィーや GC/MS 分析の結果，グリシン，β-アラニンなどの種々のアミノ酸を生じることがわかった（図 4 ）．最も生成量の多いグリシンのエネルギー収率（G 値＝100 eV 当たりの生成分子数）は，室温（液相）での照射時が 0.014 であるのに対し，液体窒素温度（固相）では約 50％の 0.007 であった．つまり，低温の固体への照射においても液体への照射時と遜色のない収率でアミノ酸が生成することがわかった．このことは，星間塵アイスマントルのような固相環境下でも，宇宙線照射により十分にアミノ酸前駆体が生成することが期待できる．

また，これまでの実験では，加水分解によりアミノ酸

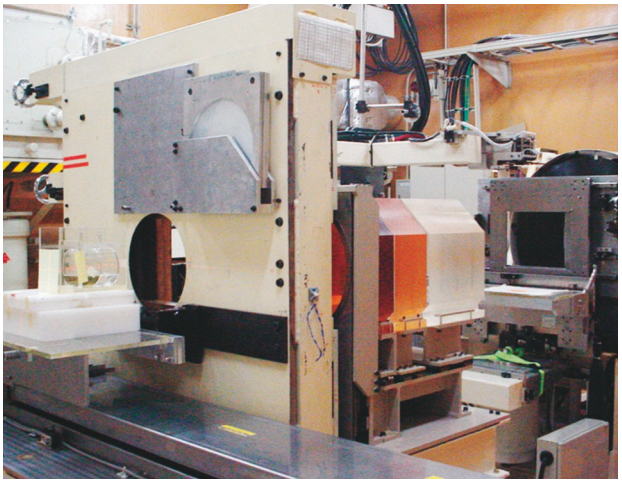

図 3 ：メタン・アンモニア・水混合物への高エネルギー炭素線照射

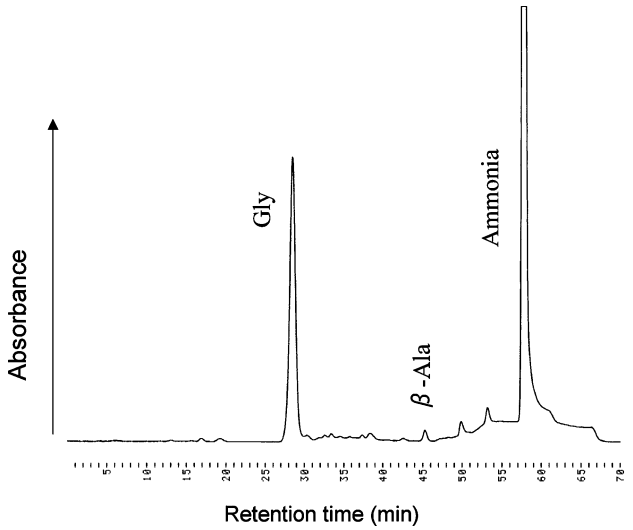

図 4 ：メタノール・アンモニア・水凍結混合物への炭素線照射により生じたアミノ酸（加水分解後）

が生成することは報告されていても，加水分解前にどのような分子が生成するのか，つまりアミノ酸前駆体が何かはわからなかった．重粒子線照射生成物を加水分解しないでゲルろ過クロマトグラフィーを行ったところ，生成した分子は，固相照射，液体照射のいずれの場合も推定平均分子量約 2300 であることがわかった．また，熱分解 GC/MS 分析により，この分子は含窒素複素環化合物など多様な残基を有することが示された．つまり，分子雲中で，宇宙線により高分子状の複雑な構造を有するアミノ酸前駆体がすでに生成していることが強く示唆された．

4．複雑有機物の安定性

一方，宇宙線は有機物の生成とともに，有機物の分解にも寄与する．そこで，遊離のアミノ酸と結合型アミノ酸（タンパク質および模擬星間有機物）に γ 線や重粒子線を照射し，これらの分子の変性過程を種々の分光法などにより行った．

遊離アミノ酸としてはグリシンを，タンパク質試料としてヒト血清アルブミン（HSA；分子量 66,000）を用いた．また，模擬星間有機物としては，一酸化炭素・アンモニア・水の混合物にヴァンデグラフ加速器からの陽子線（3 MeV）を照射して合成したもの（以後，CAW と略記）を用いた．CAW は分子量数千の複雑有機物であり[19,20]，加水分解によりグリシンをはじめとする種々のアミノ酸を生じる．各試料溶液（pH 12）をアンプル管に入れ，真空ポンプで空気を除いた後に封管し，^{60}Co 線源（東京大学原子力総合センター）からの γ 線，もしくは放射線医学総合研究所の加速器 HIMAC のからの炭素線（290 MeV/u；線量率 3500 Gy/h）を室温で照射した．

図 5 は室温で CAW とグリシンに炭素線を照射した際のグリシンの残存率（CAW は加水分解後の値）を示したものである．表 1 には，それぞれのアミノ酸量が半減するのに要する線量をまとめた．重粒子線照射に対しては，CAW 態グリシン＞HSA 態グリシン＞遊離グリシンの順に安定であること，同じ線量では γ 線の方が重粒子線よりもアミノ酸を分解しやすいことがわかった．

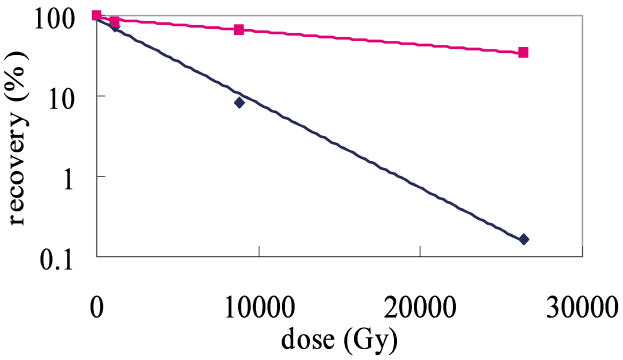

図 5：グリシンと複雑有機物中の結合型グリシンの重粒子線に対する安定性
複雑有機物（CAW）は一酸化炭素・アンモニア・水の混合物に 3 MeV 陽子線を照射して作成した．

HSA に関しては，照射による二次・三次構造の変化を円二色性分散法，ゲル濾過 HPLC 法 （GFC），マトリックス支援レーザー脱離イオン化質量分析法（MALDI-TOF-MS）・SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法（SDS-PAGE）により調べた．HSA 溶液（pH 10）に室温で重粒子線照射した場合，次の変化が観察された．

(1) GFC では，照射後，オリジナルの HSA 溶出位置よりも前にピークが出現し，線量とともにこのピークが大きくなった．これは HSA の三次構造がほどけて，見かけ上の分子の大きさが大きくなったためと考えられる．

(2) MALDI-TOF-MS では，m/z 66,000 付近のピークが 7000 Gy 以上の照射でほぼ消失した．これはアミノ酸鎖の切断に対応すると思われる．

(3) CD スペクトル（図 6）から α-ヘリクスの割合を推定すると，照射前に 51%だったのが徐々に減少して，7000 Gy 以上の照射では約 30%となり，タンパク質の二次構造が変化していることがわかった．

(4) 加水分解後のアミノ酸分析の結果，照射によりアミノ酸量は微減し，28000 Gy 照射でも 80%程度のアミノ酸が残存した．

以上のことから，重粒子照射により HSA の二次構造，三次構造が変化し，アミノ酸鎖も切断されるが，構成するアミノ酸自体の分解は限られることを示している．同条件でアミノ酸水溶液に照射した場合は，より多く分解が進んだ．また，乾燥状態や凍結状態で HSA に照射した場合は，液体状態で照射した場合と異なり，二次構造や分子量に変化が見られず，安定であることがわかった．つまり，宇宙環境でも結合型アミノ酸（タンパク質など）は液体の水のない状態では安定に存在しうることを示している．

以上の結果から，星間で生成した高分子状の結合体ア

表 1：遊離および結合型アミノ酸が半減するのに要する線量

放射線	線量率	$D_{1/2}$/kGy			
		Gly			Ala
		遊離	CAW	HSA	HSA
C（290 MeV/u）	3500 Gy/h	39	380	92	165
γ 線	1100 Gy/h	2.2	17	——	32

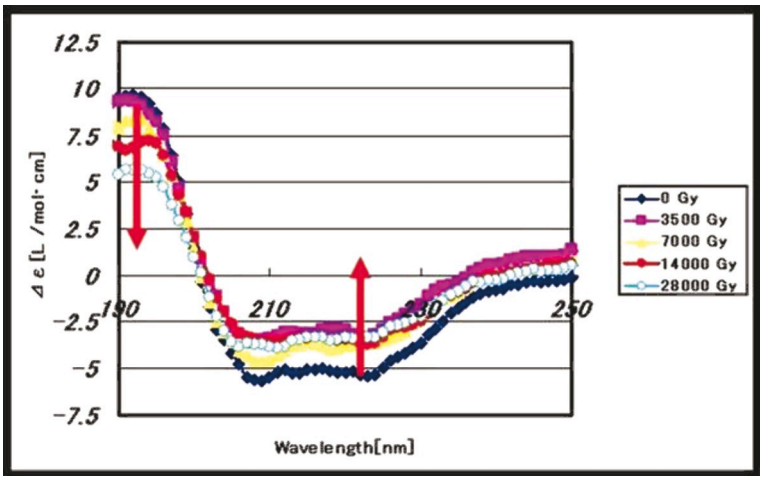

図 6：炭素線照射によるヒト血清アルブミンの CD スペクトルの変化
220 nm 付近の負のピークはタンパク質中の α-ヘリックス含量に対応する．

ミノ酸（アミノ酸前駆体）は，高分子全体の構造には変化を受けるものの，アミノ酸前駆体としての機能は安定であることがわかった．つまり，アミノ酸は星間では遊離アミノ酸の形態ではなく，高分子状結合型アミノ酸として存在している可能性が高いことが強く示唆された．

5．星間でのアミノ酸不斉の創生

アミノ酸は光学活性な分子で，D-アミノ酸と L-アミノ酸があるが，地球生命が用いているのは基本的に L-アミノ酸のみである．D-体，L-体の混じったラセミ体では高次構造を有するタンパク質が形成できない．では，なぜ，D-体ではなく，L-体を用いるようになったのだろうか．この光学活性の起源の問題に対して多くの仮説が提唱されてきた．統計的ゆらぎや，水晶などの光学活性鉱物への吸着などに対掌体の一方の過剰（エナンチオ過剰）の原因をもとめる偶然説に対し，分子に対して働く物理化学的な相互作用に非対称性の原因を求める必然説もいくつか提唱されている．

1997 年，Cronin らは，マーチソン隕石中の一部のアミノ酸に L-体の過剰が認められることを報告した[21]．それ以前にも隕石中のアミノ酸に L-体優位が存在するという報告は存在したが，L-体の過剰は地球環境からの混入による可能性が排除しきれなかった．Cronin らの分析結果では，多くのアミノ酸には L-体の過剰がみられない（混入の可能性が低い）にもかかわらず，特殊なアミノ酸，例えばイソバリンなどにおいて有意の L-体の過剰が得られたところに意味がある．イソバリンは α 位に水素を持たないアミノ酸で，このようなアミノ酸はラセミ化速度が遅い．つまり，40 億年前にはタンパク質構成アミノ酸を含む多くのアミノ酸に L-体の過剰があったのが，ラセミ化が進み，現在ではラセミ化速度の遅い一部のアミノ酸のみに L-体過剰が検出されたとの仮説が成り立つ．では，なぜ，隕石中のアミノ酸に L-体の過剰が見られたのだろうか．宇宙に何か不斉の原因があるのだろうか．ここでは，中性子星からの円偏光と，超新星爆発に起因する偏極 β 線・偏光 γ 線を取り上げる．

5.1　中性子星からの円偏光

宇宙における不斉の要因として，以前より注目されてきたのは，円偏光によるアミノ酸の不斉分解である．光学活性なアミノ酸は，円二色性を示し，円偏光により，D-体もしくは L-体の一方が他方よりも分解されやすいことが期待される．円偏光の起源としては，超新星爆発の後に形成された中性子星が最も有力視されてきた．中性子星のまわりを高速で電子が回転するため，シンクロトロン効果により放射光が生じるが，これは赤道方向には直線偏光，極方向には円偏光となる（図 7）．隕石のもとになった星間塵がこの円偏光に曝露され，アミノ酸のエナンチオ過剰が生じた，というのが円偏光説のシナリオである．実際に，Bailey らは，宇宙空間で赤外領域の円偏光が存在するのを観測している[22]．

円偏光照射実験により，アミノ酸の不斉分解を調べた実験がいくつか報告されている．例えば，井上らは，ロイシンの水溶液にシンクロトロンからの円偏光紫外線を照射し，不斉分解が生じるうることを見いだした[23]．ただ，この場合，ターゲットが強酸性である必要があった．われわれは，マーチソン隕石中で L-体の過剰が検出されたイソバリンを用い，その中性水溶液に円偏光シンクロトロン放射光を照射した．この場合，中性水溶液でも不斉分解が起きることが確認した．

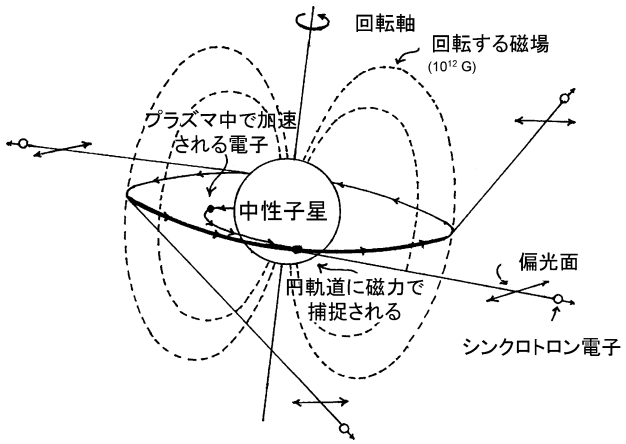

図7：中性子星からの円偏光(文献32掲載のものを一部改変)

しかし，これらのアミノ酸分解実験においては，遊離のアミノ酸をターゲットに用い，その大部分を分解することにより有意の不斉が創生される．実際に星間でできるのは複雑な「アミノ酸前駆体」であり，また，このような「アミノ酸前駆体」は遊離アミノ酸よりも星間で安定であることをすでに述べた．そこで，アミノ酸前駆体に円偏光紫外線を照射して不斉が創生されるかどうかを調べた．アミノ酸前駆体としては先に述べたのと同じ，一酸化炭素・アンモニア・水混合物に陽子線照射して合成したもの（CAW）を用いた．この溶液に，シンクロトロン（NTT）からの右もしくは左円偏光を照射した後，酸加水分解し，o-フタルアルデヒドとN-アセチル-L-システインによるプレカラム誘導体化後，逆相HPLC法でアミノ酸分析を行った．本法では，D-アラニンとL-アラニンが明確に分離できる．

表2に示すように，右円偏光を照射した時には，D-アラニンが，左円偏光を照射した時にはL-アラニンの過剰が観測された．この場合，遊離のアミノ酸を用いた場合とはことなり，アミノ酸量の減少はなく，むしろ微増した．つまり，星間の高分子状のアミノ酸前駆体に円偏光が照射されることにより，アミノ酸を分解することなく不斉を創生しうることが示唆された[24]．

ただ，この説の問題点は，原始太陽系のもとになった星間塵が中性子星の極方向，それもどちらか一方の極方向にたまたま存在した，という「偶然性」が払拭できないことである．中性子星に対して，太陽系の反対側に位置した惑星系にもし生命が存在したなら，彼らはD-アミノ酸を使っていることになる．

表2：陽子線照射により合成した高分子結合型アミノ酸前駆体（CAW）に円偏光を照射した時のエナンチオ過剰の創生

円偏光*	エネルギー	エナンチオマー比率		エナンチオ過剰	
	/eV	%D	%L	%D-%L	SD**
なし	0	50.00	50.00	0.00	0.35
右円偏光	1.57 E 10	50.22	49.78	0.44	0.31
左円偏光	1.57 E 10	49.68	50.34	−0.65	0.23

* 「なし」を陽子線照射生成物をラセミ体のアラニン（D 50%，L 50%）と定義し，円偏光照射生成物のエナンチオマー比率は「なし」との偏差をもとに計算した．

** 7回測定時の標準偏差．

5.2 超新星からの偏極電子線・円偏光γ線

1956年，素粒子の崩壊時に(弱い相互作用)，パリティが保存されない，というパリティ非保存則が発見された．このパリティ非保存則によれば，ごく僅かながら，L-アミノ酸はD-アミノ酸よりも安定である[25]．このことに基づく光学活性の起源についても，数々の説が提唱されてきた．これらの説のメリットとしては，円偏光説のような偶然が排除され，この宇宙のどこででもL-アミノ酸の過剰が期待される点である．しかし，パリティ非保存に基づくL-アミノ酸の選択を実験的に確かめる試みもなされてきたが，その差があまりにも小さいため，これまでに有意の結果は得られなかった．

近年，Tsarevらは，超新星爆発を起源とする新たな光学活性の起源説を唱えた[26]．そして，この説の検証のため，筆者らは，Snezhinsk研究所(ロシア)で強力な^{90}Srと^{90}Yの線源から生じる偏極β線を用いる不斉合成実験を現在試みている．

5.3 エナンチオ過剰からホモキラリティへ

マーチソン隕石中に発見されたアミノ酸のエナンチオ過剰や，円偏光照射実験により生じたエナンチオ過剰はわずかなものであるのに対し，機能を有するタンパク質の創生にはアミノ酸は100%近くL体(ホモキラル)である必要があると考えられる．わずかなエナンチオ過剰からホモキラリティへの化学進化はどのようにして起きたのだろうか．

Shibataらは，自己触媒反応を利用することにより，0.1%以下のごくわずかなエナンチオ過剰を拡大し，99%以上に増殖できる反応系が存在することを報告している[27]．今後，アミノ酸もしくはアミノ酸誘導体が有する触媒能を利用して同様な自己触媒系をつくることが期待される．

6．新たな化学進化のシナリオ

生命の起源に至る化学進化の実験的研究は，「ミラーの実験」以来，数多く行われてきた．初期の実験においては，メタン，アンモニア，水などの混合気体に放電，熱，紫外線などのエネルギーを与えることにより生じる有機

物の解析が中心であった．このような実験により，図８のような化学進化の「古典的シナリオ」が提唱された．まず，原始大気中において，放電などによりシアン化水素（HCN）やホルムアルデヒド（HCHO）のような小分子が生成し，これが原始海洋に溶け込む．これらが互いに反応してアミノ酸（モノマー）が生成し，さらに重合して原始タンパク質となり，その中から機能（触媒能など）をもつものが現れる，というような，小さい分子からより大きい分子に段階を追って進化していくようなものと考えられていた（図８）．

しかし，原始地球環境が強還元的でなく，生命の誕生に用いられた有機物の多くが地球圏外からもたらされたとすると，シナリオは変わらざるをえない．特に，星間ですでに高分子状の複雑有機物が生成しうること，これが不斉の種を有している可能性が高いことなどを考慮して作った新たなシナリオが図９である．

隕石や彗星により届けられた高分子状複雑有機物は，ペプチドやヌクレオチドのような「きれいな」分子はほとんど含まないが．アミノ酸や核酸塩基などの構造も分子内に含むもので，全体としては低機能の「がらくた分子」といえる．この「がらくた分子」は，原始海洋に溶け込み，その中での自己触媒反応により機能を高めるとともに，アミノ酸などのエナンチオ過剰も増大させていった．

また，原始海洋中では原始細胞状構造体が作られたと考えられる[28,29]．その中には様々な「がらくた分子」が取り込まれただろう．ダイソン（F. Dyson）は，原始海洋中で無生物的に生成した「ゴミ袋」（Garbage bag）の中に代謝機能を有する分子を含むものが現れ，それらが増殖していったとする「ゴミ袋ワールド」説を唱えている[30]．このようなゴミ袋に詰め込まれた「がらくた分子」からはアミノ酸や核酸塩基などが切り出され，ゴミ袋内での代謝機能を向上させていっただろう．そして，より効率のよいペプチド触媒を生みだして「タンパク質ワー

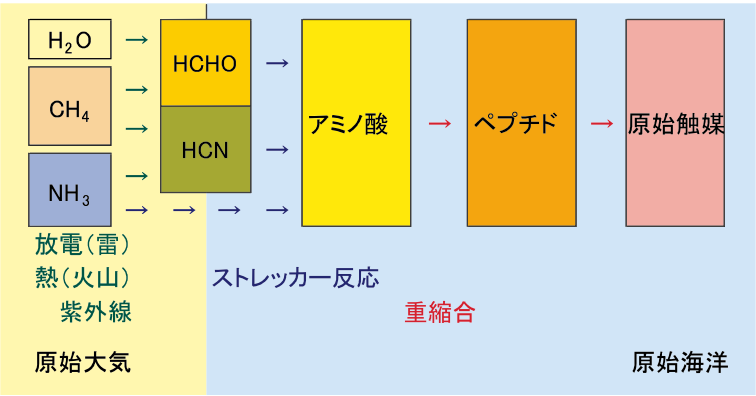

図８：化学進化の古典的シナリオ

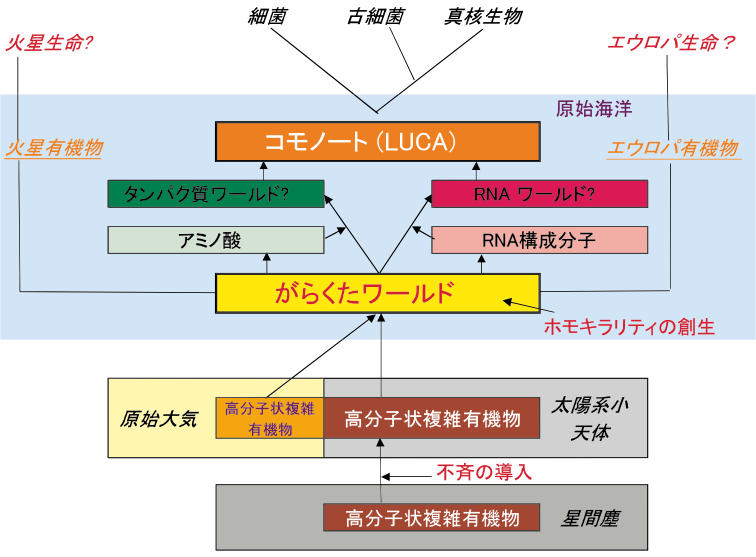

図９：化学進化の新たなシナリオ

ルド」に進化したり，核酸構成分子を利用することにより自己複製分子を生み出して「RNA ワールド」へ進化したりした．それらが共生して，現在の「DNA-タンパク質ワールド（DNP ワールド）」へと進化し，やがて「共通の祖先」の出現をみた．

以上のようなシナリオは，まだまだ実験的裏付けが少ないが，少なくとも原始海洋中で不安定なアミノ酸やヌクレオチドが蓄積して重合しあい，生命になったという考え方よりは無理が少ない．いずれにせよ，生命が誕生したのは常温もしくは高温の原始海洋中であったとしても，その基礎となる，高分子状機能性分子はすでに低温の星間の氷の中で準備されていた可能性は高いと考えられる．この点については，今後の彗星やC型・D型小惑星などの始源天体の探査やサンプルリターン，さらには惑星間塵中の有機物の解析などにより実証されていくことが期待される．後者を目的のひとつとする，宇宙ステーションの日本実験モジュール「きぼう」の曝露部上で星間塵を捕捉する実験「たんぽぽ」が宇宙実験候補として採択され，2011 年実施に向けて現在準備中である[31]．

謝辞

陽子線照射実験においては，東京工業大学の川崎克則博士に，γ線照射においては東京大学原子力総合研究センターの広石大介博士・池田秀松博士に．また重粒子線照射実験においては放射線医学総合研究所 HIMAC のスタッフの方にお世話になったので感謝する．本研究の一部は，文部科学省科学研究費補助金（Nos. 14340170, 17204050）によるものである．

参考文献

1）S. L. Miller, Science **117** (1953) p.528.
2）K. Harada & S. W. Fox, Nature **201** (1964) p.335.
3）C. Sagan & B. N. Khare, Science **173** (1971) p.417.
4）K. Kobayashi, T. Kaneko, T. Saito & T. Oshima, Origins Life Evol. Biosphere **28** (1998) p.155.
5）S. Miyakawa, H. Yamanashi, K. Kobayashi, H. J. Cleaves & S. L. Miller, Proc. Nat. Acad. Sci. USA **49** (2002) p.737.
6）C. F. Chyba & C. Sagan, Nature **355** (1992) p.125
7）K. A. Kvenvolden, J. Lawless, K. Pering, E. Peterson, J. Flores, C. Ponnamperuma, I. R. Kaplan & C. Moore, Nature **228** (1970) p.923.
8）P. G. Stocks & A. W. Schwartz, Geochim. Cosmochim. Acta **45** (1981) p.563.
9）J. Kissel & F. R. Krueger, Nature **326** (1987) p.755.
10）S. A. Sandford *et al*., Science **314** (2006) p.1720.
11）K. Nakamura-Messenger, S. Messenger, L. P. Keller, S. J. Clemett & M. E. Zolensky, Science **314** (2006) p.1439.
12）J. M. Greenberg & A. Li, Adv. Space Res. **19** (1997) p.981.
13）R. Briggs, G. Ertem, J. P. Ferris et al., Origins Life Evol. Biosphere **22** (1992) p.287.
14）M. P. Bernstein, J. P. Dworkin, S. A. Sandford *et al*., Nature **416** (2002) p.401.
15）G. M. Munoz Caro, U. J. Meierhenrich, W. A. Schutte *et al*., Nature **416** (2002) p.403.
16）Y. Takano, K. Ushio, T. Kaneko, K. Kobayashi & H. Hashimoto, Chem. Lett. **32** (2003) p.612.
17）K. Kobayashi, T. Kaneko, M. Tsuchiya, J. Koike, T. Oshima, T. Saito, T. Yamamoto & H. Yanagawa, Adv. Space Res. **16** (1995) p.21.
18）T. Kasamatsu, T. Kaneko, T. Saito & K. Kobayashi, Bull. Chem. Soc. Jpn. **70** (1997) p.1021.
19）Y. Takano, A. Ohashi, T. Kaneko, K. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. **84** (2004) p.1410.
20）Y. Takano, T. Tsuboi, T. Kaneko, K. Kobayashi, K. Marumo, Bull. Chem. Soc. Jpn. **77** (2004) p.779.
21）J. R. Cronin & S. Pizzarello, Science **275** (1997) p. 951.
22）J. Bailey, A. Chrysostomou, J. H. Hough, T. M. Gledhill, A. McCall, S. Clark, F. Menard & M. Tamura, Science **281** (1998) p.672.
23）H. Nishino, A. Kosaka, G. A. Hembury, F. Aoki, K. Miyuchi, H. Shitomi, H. Onuki & Y. Inoue, J. Am. Chem. Soc. **124** (2002) p.11618.
24）Y. Takano, J. Takahashi, T. Kaneko, K. Marumo, K. Kobayashi, Earth Planet. Sci. Lett. **254** (2007) p. 106.
25）L. S. Rodberg & V. F. Weisskopf, Science **125** (1957) p.627.
26）G. A. Gusev, T. Saito, V. A. Tsarev, A. V. Uryson, Origins Life Evol. Biosphere **37** (2007), p.259.
27）T. Shibata, Y. Yamamoto, N. Matsumoto, S. Yonekubo, S. Osanai & K. Soai, J. Am. Chem. Soc. **120** (1998) p.12157.
28）H. Yanagawa, Y. Kobayashi & F. Egami, J. Biochem. **87** (1980) p.855.
29）Yanagawa & K. Kojima, J. Biochem. **97** (1985) p.

1521.
30）F. Dyson: Origins of Life, 2nd Ed., 1999, Cambridge, University of Cambridge Press.
31）山岸明彦，矢野創，奥平恭子，小林憲正，横堀伸一，田端誠，河合秀幸，宇宙生物科学，21（2007）p.67.
32）W. A. Bonner & E. Rubinstein, BioSystems **20** (1987) p.99.

（2007 年 12 月 17 日　改訂受付）

Formation and Alteration of Complex Organic Compounds in Interstellar Space

Kensei Kobayashi, Hisako Tonishi, Taiki Tsuboi, Takahiro Sakai and Takeo Kaneko
Department of Chemistry and Biotechnology, Yokohama National University

Satoshi Yoshida
National Institute of Radiological Sciences

Yoshinori Takano
Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Jun-ichi Takahashi
NTT Microsystem Integration Laboratories

abstract:
Complex organic compounds were detected in carbonaceous chondrites and comets, and their relevance to origins of life has been discussed. It was suggested that these extraterrestrial organics were originally formed in ice mantles of interstellar dusts (ISDs) in molecular clouds. It was reported that amino acid precursors were formed from ice mixtures simulating ISD ice mantles by irradiation with UV or high-energy particles, but the nature of the precursors before hydrolysis were unknown. We irradiated a frozen mixture of possible interstellar molecules (methanol, ammonia and water) with high-energy heavy ions. The products were complex precursors of amino acids with large molecular weights. Such “complex amino acid precursors” were much more stable than free amino acids against irradiation with γ-rays or heavy ions. Irradiation of simulated interstellar complex organics with circular polarized light gave an enantiomeric excess of amino acid. These results suggested that formation of complex organics-bound amino acids and seeds of homochirality of amino acids were originally formed in interstellar cold environments. We propose a novel scenario of chemical evolution from interstellar organics to the first life on the Earth.

小林憲正・遠西寿子・坪井大樹・酒井貴博・金子竹男
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5
横浜国立大学大学院工学研究院
TEL/FAX：045-339-3938
URL: http://www.bsk.ynu.ac.jp/kobayashi-lab/index.html/
E-mail: kkensei@ynu.ac.jp

吉田　聡
〒263-8555 千葉市稲毛区穴川 4-9-1
放射線医学総合研究所
Tel：043-206-3155　Fax：043-251-4853
E-mail: s_yoshid@nirs.go.jp

高野淑識
〒237-0061 横須賀市夏島町 2-15
海洋研究開発機構地球内部変動研究センター
Tel：046-867-9802，Fax：046-867-9775
URL: http://www.jamstec.go.jp/
E-mail: takano@jamstec.go.jp

高橋淳一
〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1
NTT マイクロシステムインテグレーション研究所
Tel：046-240-2469　Fax：046-240-4728
E-mail: jitaka@aecl.ntt.co.jp