

「月惑星探査の来たる 10 年」第一段階パネルへの意見書

確認： 本意見書は日本惑星科学会が行う「月惑星探査の来たる 10 年」検討の第一段階においてパネルリーダーが意見取りまとめを行うための資料として提出して頂きます。 **将来の月惑星科学・探査において最も重要になるであろう、第一級の科学**について提案して下さい。意見書の内容は公開討論会などで議論の対象となり、最終報告に反映されます。

締めきり： 2010 年 8 月末日

提出： **電子ファイル** (Word または PDF 形式) で「月惑星探査の来たる 10 年」事務局 (decade_sec@wakusei.jp) に送って下さい。事務局で取りまとめて、パネルリーダーに展開します。

※ 「月惑星探査の来たる 10 年」検討の詳細については、惑星科学会サーバから資料をダウンロードすることができます。

https://www.wakusei.jp/news/announce/2010/2010_03_10/2010_03_09_introduction.pdf

■ 意見提出先パネル (希望するパネルに○をつけて下さい。複数回答可)

- () 地球型惑星固体探査パネル
- () 地球型惑星大気・磁気圏探査パネル
- (○) 小天体探査パネル
- (○) 木星型惑星・氷衛星・系外惑星探査パネル

■ 提案タイトル

(氷天体におけるアストロバイオロジカルな生命起源探査 (SOLARIS)

Search for Origin of Life by Astrobiological Reconnaissance of Icy Sidera)

■ 代表者の氏名・所属・連絡先 (E-mail アドレスおよび携帯電話番号)

(長沼 毅 タケシ・広島大学 大学院 生物圏科学研究科・takn@hiroshima-u.ac.jp・090-1187-4587)

■ 共同提案者の氏名・所属 (適宜追加して下さい)

(小林憲正 ケンセイ・横浜国立大学 大学院 工学研究院 機能の創生部門・kkensei@ynu.ac.jp)
()
()

■ 要約 (400 字程度)

(地球や火星などの惑星に固有の生命起源とは別に、宇宙塵における化学進化と生命起源はアストロバイオロジーの大きな研究テーマである。宇宙塵は氷・有機物・ケイ酸塩・金属からなる微粒子で、無数の宇宙塵 (一説では 10^{27} 個ほど) が集まって彗星核をつくり、さらに彗星は氷天体の起源物質になると考えられている。これまでの彗星探査では噴出塵のサンプルリターンおよびインパクター衝突による噴出物の分光分析が行われた。しかし、彗星噴出物を採取現場で分析した例はまだない。われわれは、インパクター衝突により彗星核の噴出物質を採取し、それを現場分析することを提案する。また、この発想は他の氷天体にも適用できる。木星の氷衛星表面の衝突痕から衝突の規模と時期を推定し、その射出氷片の“擬似トロヤ点”や“ダストトレイル”を探査候補地とする。また、土星の衛星エンセラダスの氷火山噴出物についても“擬似トロヤ点”および土星 E リングを候補探査地とする。)

■ 本意見書の内容 (テキストおよび図表) をパネルリーダー並びに事務局がパネル討論と各種報告書へ引用することについて承諾しますか? (いずれかに○)

(○) 承諾する () 承諾しない

■ (上で「承諾する」に○をされた方のみ) 引用時には協力者リストを付加する場合があります。協力者リストに氏名を公表することを希望しますか? (いずれかに○)

(○) 希望する () 希望しない

・自由記述 (3 ページ以内, 図表の貼り付け可)

アストロバイオロジーの研究テーマとして以下のようなものが喧伝されている:

- ー地球における生命の起源と進化 (と絶滅)
- ー過去の火星における液体の水の存在と生命の発生
- ー木星の衛星エウロパの内部海における生命存在の可能性
- ー土星の衛星タイタンのメタン湖における生命存在の可能性
- ーハビタブルプラネット (系外惑星) の条件検討と多様性

これらに対し、声調は低いが古くから謳われている研究テーマに「パンスペルミア」がある。パンスペルミアは「宇宙胚種」とでも呼ぶべき生命体あるいは生命の分散体として考えられている仮想存在であるが、それには「生命起源問題の先送りである」という批判が根強い。そこで、われわれは、宇宙での生命起源の可能性を (パンスペルミアというブラックボックスに投げるのではなく) 現実的かつ実現可能な探査手段で検証することを提案する。

ここ数年の斯分野の進展は著しく、たとえば以下のような重要な研究成果が挙がっている:

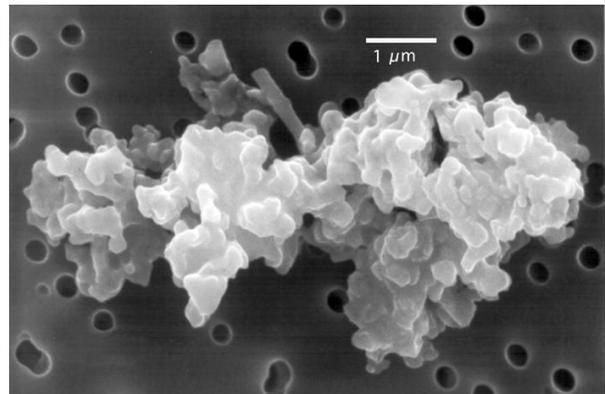
- ー地球に飛来した隕石にアミノ酸のキラリティが確認された
- ー星間分子にキラリティを与え得る強い円偏光が確認された
- ーサンプルリターンされた彗星塵にアミノ酸を含む有機物が検出された

これらの成果などに後押しされ、宇宙空間での化学進化、ひいては宇宙での生命発生が重要かつ現実的な研究テーマとして認識されつつある。そして、宇宙空間におけるその「場」として宇宙塵 (星間塵) が注目されるようになってきた。特に、宇宙塵において種々の複雑有機物ができるという「がらくたワールド仮説」は魅力的である (小林憲正著『アストロバイオロジー 宇宙が語る<生命の起源>』、岩波書店)。ここでは、オランダ・ライデン大学の J・M・グリーンバーグ教授が最初に提唱した「グリーンバーグ・モデル」の宇宙塵を想定して話を進める (J. M. グリーンバーグ, “輪廻転生”する宇宙塵. 日経サイエンス 2001 年 3 月号, 42-48)。

宇宙塵は褐色の複雑有機物を含んだ、氷-有機物-核 (コア) という三層構造をもつ粒子ということになる。そして、アイスマントルと有機物マントルが糊となって、もともとは $1 \mu\text{m}$ (10^{-6}m) もないくらいの宇宙塵がくっついて大きくなる。グリーンバーグ教授は平均して 100 個くらいの宇宙塵が集まって直径 $3 \mu\text{m}$ 程度の多孔質粒子ができたと考えている。そして、この多孔質粒子こそ、彗星の核 (ヌクレウス) をつくる粒子であると。ひとつの彗星の核はこういう粒子が 10^{25} 個も集まってできているのだと。

太陽系の彗星ができたのは太陽系形成期と同じ頃、今から約 46 億年である。実は、この時点で彗星をつくった多孔質粒子、ひいては宇宙塵はすでに 50 億歳だったという。つまり、宇宙塵は現在 96 億歳、約 100 億歳ということだ。彗星ができる 50 億年も前から宇宙塵に「茶色の物質」が集積し、100 個の宇宙塵がくっついて多孔質粒子をつくっていた。その多孔質粒子というサイトではいろいろなプロセス——ついに生命誕生に至るプロセス——が起きただろう。たとえ、滅多に置き得ないプロセスでも、時間とサイト数の掛け算をすれば莫大な数の試行錯誤ができたはず。その結果として、宇宙塵がくっついた多孔質粒子の内部で生命が誕生した。

そして、多孔質粒子が 10^{25} 個 (すなわち宇宙塵が 10^{27} 個) 集まってひとつの彗星となり、無数の彗星がいろいろな天体を訪れてきたのだ。そのひとつにわが地球があるということである。



宇宙塵の例

http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_dust

彗星は氷衛星の、少なくとも水および関連成分の、母体だと考えられている。木星系の代表的な氷

衛星であるエウロパやガニメデには火山の熱により氷底部が融けた「内部海」があると考えられている。つまり、海底火山があるということだ。地球の海底熱水噴出孔にエキゾチックな生物群集が繁栄していることから、エウロパやガニメデにも何らかの生物が存在するだろうと予想されている。それらの生物の発生には彗星が持ち込んだ有機物が役に立った、あるいは、彗星が始原的な生命体を持ち込み、それが各々の天体で独自に進化したと考えることもできよう。われわれは、このような**彗星核から噴出される塵を採取し、現場で分析**することを提案する。噴出塵を得るには先に「ディープインパクト」が行ったようなインパクト衝突を想定しているが、「スターダスト」が行ったような自然噴出塵の採取も考えるものとする。

本来ならばエウロパやガニメデの内部海での潜航調査を提案したいところではあるが、今後 10 年以内の実現可能性を鑑みるに、それは困難であろうと思われる。ゆえに、内部海との相互作用や物質循環のある表面氷の一部の採取を考えることとする。ただし、彗星に比べて氷衛星の重力が大きいのでインパクト衝突による噴出氷の採取は困難であろう。エウロパ表面の脱出速度は約 2 km/s、ガニメデ表面の脱出速度は約 2.7 km/s である。むしろ、自然噴出氷の採取を検討するのが現実的である。

自然噴出氷の採取を考える場合、隕石衝突により衛星重力圏外への射出された氷片が採取対象となろう。その氷片はどこにあるのか。それは隕石衝突痕の規模と時代から推定することが可能である。木星系の氷衛星は二体問題ではなく多体問題になるので、必ずしもラグランジュ点があるわけではないが、一時的な“擬似トロヤ点”を考えることができるだろう。また、彗星の“ダストトレイル”に相当するような氷片トレイルを想定することもできる。

また、表面氷への衝突で生じた氷片は微細 (spalled) であるほど重力圏外まで射出されやすいことも、採取には好都合である。大きな氷片では採取時の衝撃が大きくなり過ぎる恐れがあるが、微細氷ならその懸念は低減するからである。ただし、そのような微細になるほどレーダーなどでの検知が難しくなるという trade-off もあるので、氷片採取についてはさらに戦略検討が必要である。

エウロパやガニメデなどの氷衛星では、「液体の水」と「熱源」は確実に存在すると考えられているが、「有機物」が検出されたことはまだない。そこで、もし、採取した氷片から有機物が検出されたら、それだけでも重要な発見となる。

	液体			有機物	熱源
	H ₂ O	NH ₃	CH ₄ -C ₂ H ₆		
彗星	部分的?	可能?	可能?	いろいろ	太陽放射
エウロパ	内部海	可能?	可能?	未発見	潮汐加熱
タイタン	(内部海)	内部海	地表湖	CH ₄ -C ₂ H ₆ ソリン他	氷火山*
エンセラダス	内部海	可能?	可能?	いろいろ	氷火山*

* 氷火山の熱源は不明

土星の氷衛星エンセラダスでは氷火山による噴出活動が観察されている。氷火山の熱源は不明であ

るが、表面氷の下に内部海があると考えられている。また、噴出物のなかに様々な有機物も検出されている。しかも、その組成は彗星起源であると推定できる。今のところ、「液体の水」「有機物」「熱源」の3点セットが確実なのはエンセラダスだけなので、この氷衛星もまた SOLARIS の探査対象である。

エンセラダス表面からの脱出速度は 241 m/s である。これを上回る射出速度をインパクト衝突により起こせるか否かについて検討する価値はあるだろう。もし、インパクト衝突による噴出現象の誘発が困難であるなら、自然噴出すなわち氷火山による噴出物を採取することになる。その際は、木星系の氷衛星での検討と同様な“ダストトレイル”の推定を行うことになる。ただし、エンセラダスの場合、土星の E リングがエンセラダスの噴出物の影響を受けていると考えられている。したがって、土星の E リング物質の採取もまた、この提案に含めたい。

なお、提案テーマの英語略称 SOLARIS は、それ自体が一個の生命体（あるいはそれを覆う海が生命体）であるような『惑星ソラリス』という SF 作品のタイトルに因んでいる。また、「氷天体」の英語表現を「Icy Sidera」としたことにも理由がある。それは、木星の氷衛星であるエウロパやガニメデなどのガリレオ衛星を発見したガリレオ本人が、ガリレオ衛星をどう呼んでいたかに因んでいる。ガリレオは『星界の報告』においてこの4大衛星のことを「Medicea Sidera」（メディチ家の星）と呼んだのだ。星を意味するイタリア語 *sidereus* の複数形が *sidera* である。この提案では敢えて *sidera* を用いることでガリレオ衛星が念頭にあること、そして、*icy sidera* ということによってガリレオ衛星の氷衛星であるエウロパとガニメデに主眼を置くことを暗示したつもりである。