

ゲノムに刻まれた地球システム進化の歴史

Earth System Evolution and Genomics

遠藤 一佳[1]

Kazuyoshi Endo[1]

[1] 筑波大・地球

[1] Inst. Geosci., Tsukuba Univ.

生物の存在は惑星地球を特徴づける。地球の少なくともその表層における現象を考える上で生物の影響は無視できない。また、いかにして地球システムが現在の姿になったのか、その歴史を探る上でも生物圏の挙動と進化の理解は欠かせないであろう。これまでは過去の生物圏について知る直接的な証拠として、化石（過去の生物の遺骸や痕跡：死体そのもの、生痕のほか、生体分子の断片である分子化石、ある種の元素や同位体の濃集物として残された原子化石も含む）がもっぱら用いられてきた。ここでは、これらに加えて、現在の地球上の生物がもつゲノム（DNA）にも地球と生物の相互作用の歴史（＝進化の歴史）が刻印されており、それを読みほくことによって生物圏も含めた地球システム進化に関する新たな手がかりが得られる、という考えを紹介する。

われわれ生物の持つゲノムには大きく分けて3種類の情報が刻まれている。〔1〕祖先から子孫へと引き継がれていく遺伝情報そのもの、〔2〕広い意味での代謝・発生プログラム、そして上述の〔3〕歴史情報である。歴史情報は複数のゲノムを比較することによって得られる。歴史情報はさらに2つのカテゴリーに分けることができる。〔3a〕現在の生物の類縁関係に関する情報、そして〔3b〕それぞれの共通祖先（古生物）が持っていた遺伝情報（塩基配列、遺伝子セットなど）と代謝・発生プログラムに関する情報である。前者に基づいて系統樹を推定し、その分岐パターンとそれぞれの端点の状態（現在の生物の持つ遺伝情報）から、最節約原理に基づいてそれぞれの内点（系統の分岐点）での状態を復元することによって、後者が得られるという手順になる。この方法に基づけば、過去のさまざまな時点でのゲノム状態を推定し、当時の生物の姿や活動を類推することが原理的に可能である。

例えば、現在の地球大気は酸素に富むが、この豊富な酸素はシアノバクテリア（酸素発生型の光合成・光化学系II）の進化によって最初に地上にもたらされたと考えられる。ところが、シアノバクテリアの分岐前に存在した真正細菌と古細菌の共通祖先が、シトクロム酸化酵素（酸素を最終的な電子受容体として用いる呼吸系の酵素）やSOD（スーパーオキシドジスムターゼ：活性酸素の除去に用いられる酵素）などの遺伝子をすでに持っていたという推定もされている。これらのことはその時点で遊離酸素が多少なりとも存在していたことを示唆する。また、その後の酸素の増大は、クエン酸回路の成立、CuZn-SODの出現、あるいはコレステロールの生合成経路の進化などにその痕跡を見て取ることができる。一方、大気中の二酸化炭素は逆に大局的には現在に向けて大幅に減少したと考えられるが、これは例えば動物におけるヘモグロビンの出現や、シアノバクテリアにおける二酸化炭素濃縮機構（CCM）の進化に反映されている可能性がある。

たいていの生物は11個の主要元素（H, C, N, O, Na, Mg, P, S, Cl, K, Ca）と、5個の微量元素（Mn, Fe, Co, Cu, Zn）からできている（その他B, Al, Si, V, Mo, Iなどの微量元素を含むものもある）。地球システム内の物質循環における生物圏の役割は、煎じ詰めればこれらの元素の他のサブシステムとのやりとりに集約されるであろう。生物の側から見ればこれはいずれも重要な栄養素であり、それぞれの元素（あるいはそれらの組合せ）について、外界からの取り込み、加工、利用、排出などの代謝に関与する遺伝子群が存在する。それはいずれも地球と生物の相互作用の歴史の産物であり、それぞれのストーリーを秘めている。現在爆発的な勢いで蓄積している生物ゲノムのデータからこれらの歴史情報を引き出すことは今後の地球惑星科学の大きな課題となるであろう。