

### 3. ヘモグロビンから見た 深海生物チューブ・ワームの系統進化

鈴木知彦・門田守弘・古郡隆弘

(理学部生物学科)

#### 1 はじめに

およそ10年前、ガラパゴス諸島沖の深海底2600mで発見された高密度の生物群集が、多くの生物学者に興奮と興味を引き起こさせたことは記憶に新しい。この群集は、体長2mを越すチューブ・ワームや殻長30cmに達するシロウリガイを主要素としており、彼らがイオウ酸化細菌との共生によって巨大な体を維持していることが後の研究によって明らかにされた<sup>1)</sup>。

日本近海でも、しんかい2000の活用によっていくつかの場所で深海生物群集が発見された。この報告書では、相模湾初島沖海底1100mで採集された日本産チューブ・ワーム (*Lamellibrachia* sp.) の系統進化を血色素 (ヘモグロビン) のアミノ酸配列を基に論じる。

#### 2 方法

日本産チューブ・ワームのヘモグロビンの構成鎖 (AI-IV 及び BI-IV) のN末端部分アミノ酸配列<sup>2)</sup>と環形動物ヘモグロビンの構成鎖のアミノ酸配列<sup>3,4)</sup>から、Neiらの方法<sup>5)</sup>を用いて分子系統樹を作成した。この方法は分岐点での誤差を表現できるため、作成された系統樹を評価する上で大変有効である。

#### 3 結果および考察

現在までにチューブ・ワームは6属9種が知られており、すべて深海産である。これらの生物は、口も腸も肛門もない等の形態的特徴から1985年末に新しい門 Vestimentifera に帰属させられた<sup>6)</sup>。しかし Terwilliger らは、そのヘモグロビンの電顕像及び SDS 電気泳動パターンが環形動物のものと良く似ていることから<sup>7)</sup>、チューブ・ワームと環形動物の類縁性を推論した。日本産チューブ・ワームのヘモグロビンの電顕像もやはり環形動物のものと良く似ていることが確かめられている<sup>8,9)</sup>。

我々はこの考えを更に分子レベルで検討するために、チューブ・ワームと環形動物のヘモグロビン構成鎖アミノ酸配列上の差異に基づいて分子系統樹を作成した。図1にその結果を示してある。この系統樹は、チューブ・ワームの9本の構成鎖、及び環形動物の10本の鎖のN末端19残基を用いて作成されている。これから以下の3つのことが解る。

(a) 全構成鎖は二系統 (strain A と B) に明瞭に分類される。全構成鎖の構造決定されている環形動物イトメ (*Tyl.*) 及びツリミミズ (*Lum.*) に注目すれば、それらは4本の鎖から成っており、それぞれ2本ずつ A, B 二系統に分れている。これは全配列を使って構築した系統樹<sup>4)</sup>と矛盾しない。

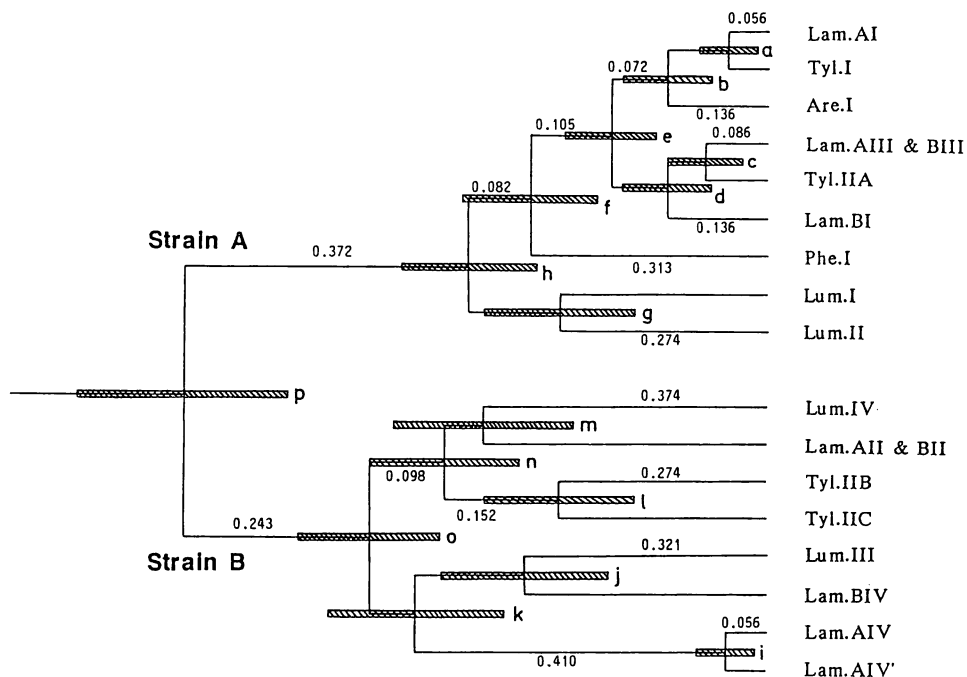


図1. チューブ・ワームと環形動物のヘモグロビン構成鎖から作成した系統樹。Lam., チューブ・ワーム; Tyl., イトメ; Lum., ツリミミズ; Are., タマシキゴカイ; Phe., シーボルトミミズ。斜線で囲んだ部分は標準偏差を表わしている。

(b) チューブ・ワームのヘモグロビン (生体内に2種類ある) も, 基本的に4本の鎖で構成されており<sup>2,8)</sup>, 環形動物同様それらは2本ずつ2系統に分類された。

(c) 最も近縁な鎖は, イトメ I 鎖とチューブ・ワーム (Lam.) A I 鎖である。両者は, 図1で使用した19残基のアミノ酸配列上で, わずかに2残基異なるのみであり, この驚くべき高い相同性は多毛類同志 (イトメ I 鎖とタマシキゴカイ (Are.) I 鎖) の相同性をも上回っている。

以上のことを総合すると, 分子レベルではチューブ・ワームと環形動物は非常に近い関係にあることを示しており, チューブ・ワームの分類学的な位置については再検討すべきであろうと思われる。

最近, チューブ・ワーム A III 鎖の全アミノ酸配列が決定された (鈴木・高木・太田, 未発表)。この鎖は144のアミノ酸残基から成っており, イトメ II A 鎖及びツリミミズ II 鎖と対応する鎖であり, この三者は50%前後の相同性を持っている。この三種類の鎖で図1と同様に系統樹を作成すると, 誤差の範囲内でいずれも同時期に分化したと結論された。Goodman らは, イトメ II A 鎖とツリミミズ II 鎖は約3億年前に分化したと計算しており<sup>10)</sup>, これを信頼すればチューブ・ワーム, イトメ, ツリミミズは約3億年前後にそれぞれ分化したと考えられるだろう。

一般に, 分子の進化と形態の進化は別次元のものであるという認識が持たれている。形態の進化は生活環境等に強く影響されて不連続であるのに対し, 分子レベルでは進化 (変異) の速度は一定

であると考えられている<sup>11)</sup>。元来“種”の分類は、外部形態と分子レベルでの差異の両方に基づいて行なわれるべきであろうが、少なくとも“門”レベルのような高位の分類に対しては分子レベルでの知見を優先すべきであろうと思われる。この考えに立てば、チューブ・ワームはまさに環形動物の一種であると結論づけられる。チューブ・ワームは、共生という特殊な手段で栄養を得ているため、外部形態、特に採食能力に関する遺伝子群が不活性化したり一部変異したりしても、大きなダメージを受けることなく生き続けられ、それが逆に共生細菌に生活の場を与えることになり好都合になったと推論される。同時に、チューブ・ワームのヘモグロビンが酸素以外に硫化水素を運搬できるようになったことで代表されるように<sup>1)</sup>、共生に対して分子レベルでの適応も偶発的に起ったと考えられる。

### 引用文献

- 1) Childress, J. J., Felbeck, H. and Somero, G. N. 1987. Symbiosis in the deep sea. *Scientific Amer.*, **256**: 106–112.
- 2) Suzuki, T., Takagi, T. and Ohta, S. 1988. N-Terminal amino acid sequence of the deep-sea tube worm haemoglobin remarkably resembles that of annelid haemoglobin. *Biochem. J.*, **255**: 541–545.
- 3) Suzuki, T. and Gotoh, T. 1986. The complete amino acid sequence of giant multisubunit hemoglobin from the polychaete *Tylorhynchus heterochaetus*. *J. Biol. Chem.*, **261**: 9257–9267.
- 4) Fushitani, K., Matsuura, M. S. A. and Riggs, A. F. 1988. The amino acid sequences of chains a, b, and c that from the trimer subunit of the extracellular hemoglobin from *Lumbricus terrestris*. *J. Biol. Chem.*, **263**: 6502–6517.
- 5) Nei, M., Stephens, J. C. and Saitou, N. 1985. Methods for computing the standard errors of branching points in an evolutionary tree and their application to molecular data from humans and apes. *Mol. Biol. Evol.*, **2**: 66–85.
- 6) Jones, M. L. 1985. On the Vestimentifera, new phylum: six new species, and other taxa, from hydrothermal vents and elsewhere. *Biol. Soc. Wash. Bull.*, **6**: 117–158.
- 7) Terwilliger, R. C., Terwilliger, N. B., and Schabtach, E. 1980. The structure of hemoglobin from an unusual deep sea worm (Vestimentifera). *Comp. Biochem. Physiol.*, **65B**: 531–535.
- 8) Suzuki, T., Takagi, T., Okuda, K., Furukohri, T. and Ohta, S. 1989. The deep-sea tube worm hemoglobin. Subunit structure and phylogenetic relationship with annelid hemoglobin. *Zool. Sci.* **6**: in press.
- 9) Suzuki, T., Kapp, O. H. and Gotoh, T. 1988. Novel S–S loops in the giant hemoglobin of *Tylorhynchus heterochaetus*. *J. Biol. Chem.*, **263**: 18524–18529.
- 10) Goodman, M., Pedwaydon, J., Czelusniak, J., Suzuki, T., Gotoh, T., Moens, L., Shishikura, F., Walz, D. and Vinogradov, N. 1988. An evolutionary tree for invertebrate globin sequences. *J. Mol. Evol.* **27**: 236–249.
- 11) 木村資生編. 1984. 分子進化学入門. 培風館.