

## 論文の内容の要旨

### 南中国澄江地域における最下部カンブリア系層序： Small shelly fossils 多様化事件と環境変動

( The lowermost Cambrian stratigraphy in the  
Chengjiang area, South China:  
The small shelly fossils diversification and  
relevant environmental changes )

佐藤 友彦

カンブリア紀の爆発的な生物進化の先駆けとして、カンブリア紀初期 Nemakit-Daldynian 中期 (~534-530 Ma) に小型硬骨格生物化石 small shelly fossils (SSF) の急激な多様化事件が起きた。この事件と同時期に、大規模なリン酸塩岩堆積イベントや、炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) の変動が起きたことが報告されており、地球規模の大きな環境の変化があったことが示唆される。しかし、SSFの多様化が具体的にどのような環境変動の中で起きたのかは未解明である。本研究では、カンブリア紀初期に起きた上述の特異な事件の前後関係および因果関係の解明を目的として、SSFを多産する南中国雲南省澄江 (Chengjiang) 地域の上部エディアカラ系-下部カンブリア系の連続層について詳細な岩相層序、SSF生層序、同位体 ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) 層序を検討した。

本研究では澄江地域内の3セクション (洪家冲, 帽天山, および小濫田) で野外調査を行い、とくに主な調査対象とした洪家冲 (Hongjiachong) セクションにおいて新鮮な岩石試料を掘削により採取した。澄江地域における上部エディアカラ系-下部カンブリア系は、下位から順に、朱家青層 {待補部層 (50 m 厚, ドロマイト, 石灰質泥岩), 中誼

村部層 (40 m 厚, リン酸塩岩), および大海部層 (1 m 厚, ドロマイト)} および 石岩頭層 (>20 m 厚, 黒色頁岩) からなる.

洪家沖セクションにおける岩相層序を検討するため, 露頭の観察, 岩石試料の研磨スラブおよび薄片の鏡下観察を行った. リン酸塩岩層についてとくに詳細に岩相を観察し, 中誼村部層を以下の 5 ユニットに区分した. すなわち下位から, Unit A: 層状リン酸塩岩層 (18 m 厚), Unit B: リン酸塩岩-ドロマイト互層 (5 m 厚), Unit C: リン酸塩岩-ドロマイト互層 (5 m 厚), Unit D: 層状リン酸塩岩層 (8 m 厚), および Unit E: リンに富む層状リン酸塩岩層 (5 m 厚) である. いずれのユニットのリン酸塩岩も, 主に円磨度の低いリン酸塩の砕屑粒子から構成され, ドロマイト基質を持つ. また, 粗粒の砕屑粒子を含む高エネルギー環境で堆積した層ほどリン酸塩含有量が多い傾向が認められる. これらの観察事実は, リン酸塩岩が初生的により浅い場で堆積したこと, それらの一部が削剝され, 砕屑粒子として相対的に深い炭酸塩岩の堆積場に運搬されたこと, そして層状リン酸塩岩層あるいはリン酸塩岩-ドロマイト互層として再堆積したことを示唆する. また, それらに含まれる SSF も同様な産状を呈することから, 彼らの出現・生息領域も堆積盆地縁辺の極めて浅い海であったことが推定される. Unit C の基底に産する厚さ 20 cm の砂質ドロマイト層は, Unit B-C の中で唯一, 粗粒の陸源石英砕屑粒子を多く含む. この砂質ドロマイト層の底面が直下の Unit B の層理を明瞭に斜交して覆っていることから, 本層は重力流としてより深い場に流入し, 既存の Unit B の最上部を浸食して, その上に堆積したと推定される. この砂質ドロマイト層が澄江地域の他の 2 セクションにおいても観察されることから, 本層が少なくとも澄江地域の下部カンブリア系層序対比において極めて有効な鍵層であることを初めて指摘した. さらに, この鍵層が, Unit A-B が記録する上方細粒化シークエンスと Unit C-E が記録する上方粗粒化シークエンスの境界をなすことを明らかにした.

洪家沖セクションにおける SSF 層序を確立するため, リン酸塩岩およびドロマイト (計 30 層準) を酢酸処理し, SSF の抽出を行った. その結果, 中誼村部層の 10 層準から SSF を抽出し, 15 属を同定した. これら産出する SSF の分類群に基づき, 次の 2 つの群集を識別した. すなわち, Unit A の最下部 (2 層準) からは *Anabarites* sp. や *Protohertzina* sp. を含む SSF 第 1 群集が, また Unit C 底部の砂質ドロマイト層 (1 層準) お

よび Unit E (7 層準) からは *Paracarinachites* sp. や *Ocruranus-Eohalobia* group が卓越する SSF 第 2 群集が産することを明らかにした。これらの群集は、SSF の構成から、Steiner et al. (2007) の *Anabarites trisulcatus-Protohertzina anabarica* 群集および *Paragloborilus subglobosus-Purella squamulosa* 群集にそれぞれ相当し、共にカンブリア紀最初期 Nemakit-Daldynian の年代を示す。第 1 群集から第 2 群集への変化は、SSF 進化史の中で最大の多様化事件にあたる。従来、SSF 第 2 群集 (*Paragloborilus subglobosus-Purella squamulosa* 群集) の出現は、澄江地域の中誼村部層上部リン酸塩岩 (本セクションの Unit D) からとされていたが、本研究は、その初出層準が約 5 m 下位にあたる Unit C 底部の砂質ドロマイト層であることを発見し、SSF 多様化がより早期に起きたことを示した。

SSF 多様化事件当時の浅海での生物生産の変化を探るため、洪家沖セクションで採取した新鮮なボーリングコア試料を用いて待補部層上部および中誼村部層のドロマイトおよび石灰質泥岩 (計 55 層準) の炭酸塩の  $\delta^{13}\text{C}$  値を測定した。その結果、 $\delta^{13}\text{C}$  値はすべて負の値を持つこと、またエディアカラ紀末からカンブリア紀初頭に -1 ‰ から -6 ‰ の範囲で変動したことを明らかにした。変動曲線に 2 つの負シフトおよび 1 つの正シフトを認識した。すなわち、待補部層上部における -1 ‰ から -5 ‰ への負シフト N1、中誼村部層中部における -3 ‰ から -6 ‰ への負シフト N2、および中誼村部層上部における -6 ‰ から -2 ‰ への正シフト P2 である。洪家沖セクションにおいて、SSF 第 2 群集の初出層準は  $\delta^{13}\text{C}$  負シフト N2 の区間内に位置する。雲南省東部の他セクションとの岩相層序対比に基づくと、この SSF 多様化と  $\delta^{13}\text{C}$  負シフトは共に、カンブリア紀初期の南中国南西部の浅海域において普遍的におきたと考えられる。N1 および P2 は、Zhu et al. (2006) による BACE および ZHUCE 直前のシフトに各々相当する。従来、SSF 多様化は ZHUCE 直前の  $\delta^{13}\text{C}$  正シフト P2 と対応すると考えられてきた (e.g. Brasier et al., 1990; Zhu et al., 2006)。しかし本研究は、それに先行する  $\delta^{13}\text{C}$  負シフト N2 の期間に起きたことを初めて明らかにした。 $\delta^{13}\text{C}$  負シフト N2 は SSF 多様化事件と並行して起きており、重要な環境変動のシグナルと考えられるので、これを Fuxian excursion (撫仙変動) と命名する。撫仙変動の詳細な原因およびメカニズムは未解明であるが、おそらく局所的な堆積盆地内での炭素循環に大きな変化が起きた結果と推定される。

SSFが多様化した当時の海洋における生物活動とは独立な環境変動を探るために、洪家沖セクションにおけるボーリングコア試料のドロマイトおよび石灰質泥岩（計10層準）の炭酸塩のストロンチウム同位体比（ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  値）を測定した。その結果、ほとんどの試料が約0.709の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  値をもつこと、また待補部層-中誼村部層境界付近において極大値0.711をとることを明らかにした。この同位体層序は、当時の南中国陸棚の中でも比較的深い堆積場にあった三峡地域の記録（Sawaki et al., 2008）とよく対比される。また、両地域の地層が当時の他地域のものに比べ高い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  値を持つことは、南中国で局所的に大陸地殻起源のフラックスが増大した特異な堆積環境が出現したことを意味する可能性がある。

本研究で得られた上述の新知見に基づくと、カンブリア紀最初期におけるリン酸塩岩の堆積やSSFの多様化は、次のような過程で起きたと推定される。カンブリア紀最初期の南中国の陸棚には、外洋から分離された局所的な海盆が発達し、とくに海水準の低下時には浅海域が完全に独立した。このような局所的な堆積盆地の極めて浅い部分において、大陸地殻由来のリンに富む特殊な海水からリン酸塩が初生的に堆積したと考えられる。またSSFの多様化も、同様の極めて浅い堆積場の特異な環境で起きたと判断される。南中国において $\delta^{13}\text{C}$ および $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体層序が示す変動も、このような外洋から分離された堆積場の特異性を支持する。