

露頭断面中の試料に含まれる微化石から定めた 種の区間帯と生層序単元の離散表現

山口 久美子*・塩野 清治**

Discrete Expression of Species Range Zones and Biostratigraphic Units Estimated by Micro Fossils Content of Samples in an Outcrop Section

Kumiko YAMAGUCHI* and Kiyoji SHIONO**

* Midorigaoka, Heguri Ikoma-gun Nara 636-0941, Japan. E-mail: qys05253@nifty.ne.jp

**大阪市立大学名誉教授 Professor Emeritus of Osaka City University, Daido-cho Ibaraki-shi,
Osaka 567-0844, Japan.

キーワード：生層序学，生層序単元，小区間，ブール代数，論理地質学

Key words：Biostratigraphy, Biostratigraphic Unit, Short Interval, Boolean Algebra,
Geology-Oriented Logical System

1. はじめに

地質情報の有効なアルゴリズムを考案するためには，地質学の概念を離散表現する必要がある。

生層序単元は地層の含有化石にもとづく層序単元である。タクソン (taxon, 生物の分類単位。複数形はタクサ taxa.) によって設定される。塩野・山口(2023)は生層序単元の基礎となる時間軸上のタクソンの生存期間を半開区間 $[t_1, t_2)$:

$$[t_1, t_2) = \{t \mid t_1 \leq t < t_2, t \text{ は実数}\} \quad (1)$$

であると仮定して，最小区間およびブール代数を用いて離散表現した。タクソンの生存期間を半開区間であると仮定することで，ブール代数による離散表現が可能になる。

山口・塩野(2024)では，露頭断面中の採取試料に含まれる放散虫などの微化石からタクソン区間帯(化石帯)を半開区間で定めて，塩野・山口(2023)による最小区間による離散表現をタクソン区間帯に適用した。これに加えて，本研究では， $B^n = \{0, 1\}^n$ の元(タプル)でタクソン区間帯を離散表現して，生層序単元を区間帯の集合演算およびブール演算で求める原理を示す。

2. タクソン区間帯

2.1 タクソン区間帯の仮定

層序断面の測線 L は下位の地層から上位の地層に向く方向を正とする。層序断面全体は， L 上の半開区間 $[x_0, y_0)$ とする。

仮定： $[x_0, y_0)$ 内のタクソン Σ の化石の産出について，

- ・ $[x, y)$ より下位の部分 $[x_0, x)$ でタクソン化石が産出されない
 - ・ $[x, y)$ でタクソン化石が産出される
 - ・ $[x, y)$ より上位の部分 $[y, y_0)$ でタクソン化石が産出されない
- と仮定する(第1図(a))。

$[x, y)$, x, y は，それぞれ，タクソン区間帯，タクソン化石の初産出生層準，最終産出生層準に相当する。

2.2. 露頭断面中の試料から定めたタクソン区間帯

層序断面は露頭断面あるいは深海掘削ボーリングによって取り出されたコアとし，「露頭断面」とよぶことにする。 L 上の地点から試料を採取してタクソン Σ の微化石の有無を調査する。

定義： L 上の $[x_0, y_0)$ 内の下位から順に n 地点 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ で試料を採取して，タクソン Σ の微化石の有無を調査した結果が

- ・ $p_1, p_2, \dots, p_{i-1}$ で微化石が産出されない
 - ・ $p_i, p_{i+1}, \dots, p_j$ で微化石が産出される
 - ・ $p_{j+1}, p_{j+2}, \dots, p_n$ で微化石が産出されない
- であったとき，タクソン Σ の微化石の初産出生層準を p_{i-1} と p_i の中間地点，最終産出生層準を p_j と p_{j+1} の中間地点とし，タクソン区間帯 $\hat{r}(\Sigma)$ を

$$\hat{r}(\Sigma) = [\tilde{x}, \tilde{y}) = [(p_{i-1} + p_i)/2, (p_j + p_{j+1})/2) \quad (2)$$

と定める(第1図(b))。

2.2 最小区間によるタクソン区間帯の離散表現

p_i と p_{i+1} の中間地点 $1/2 (p_i + p_{i+1})$ を l_i ， $[x_0, y_0)$ の x_0, y_0 をそれぞれ l_0, l_n とすると， p_i を含む最小区間 m_i を $m_i = [l_{i-1}, l_i)$ と設定できる。 $p_i, p_{i+1}, \dots, p_j$ で微化石が産出されるとき， $[\tilde{x}, \tilde{y})$ は $m_i, m_{i+1}, \dots, m_j$ の和集合である(第1図(c)):

$$\hat{r}(\Sigma) = [\tilde{x}, \tilde{y}) = m_i \cup m_{i+1} \cup \dots \cup m_j. \quad (3)$$

2.3 タプルによるタクソン区間帯の離散表現

集合 $B = \{0, 1\}$ の n 個の直積集合 $B^n = B \times B \times \dots \times B$ は

$$B^n = \{(a_1, a_2, \dots, a_n) \mid a_k = 0, 1; k = 1, 2, \dots, n\}.$$

B^n の元 $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ をタプルとよぶ。

最小区間 $m_1, m_2, \dots, m_n$ の幾つかの和集合の集合 L_M を

$$L_M = \{v_1 \cup \dots \cup v_i \cup \dots \cup v_n \mid v_i = \emptyset, m_i; i = 1, 2, \dots, n\}$$

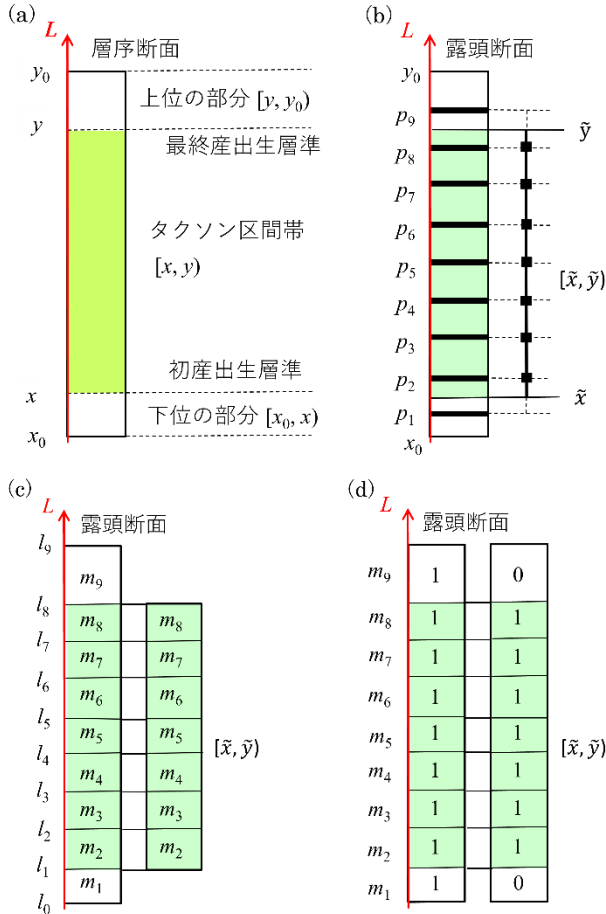
とする。塩野・山口(2023)と同様に，全単射 $h: B^n \rightarrow L_M$ を

$$v_i = \begin{cases} m_i & (a_i = 1 \text{ のとき}) \\ \emptyset & (a_i = 0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (4)$$

と定義する。(3)と(4)より， $p_i, p_{i+1}, \dots, p_j$ でタクソン Σ の化石が産出されるとき， $[\tilde{x}, \tilde{y})$ は，

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= a_2 = \dots = a_{i-1} = 0 \\ a_i &= a_{i+1} = \dots = a_j = 1 \\ a_{j+1} &= a_{j+2} = \dots = a_n = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

という成分からなるタプル $(a_1, a_2, \dots, a_n) \in \mathbf{B}^n$ に対応付けられる(第1図(d)).



第1図 (a)タクソン区間帯 $[x, y)$. (b)露頭断面中の試料から定めたタクソン区間帯 $[\tilde{x}, \tilde{y})$. (c)最小区間によるタクソン区間帯 $[\tilde{x}, \tilde{y})$. (d)タプルによるタクソン区間帯 $[\tilde{x}, \tilde{y})$.

3. 種の区間帯と生層序単元の離散表現

3.1 種の区間帯の離散表現

微化石でタクソン Σ を下位の種に分類する. 地点 p_i で産出する微化石の種の集合を $f(p_i)$ とする(第1表). (3)と(5)の原理で種の区間帯が離散表現される(第1表, 第2表).

第1表 分類結果と最小区間による種の区間帯.

地点 p_i	種の集合 $f(p_i)$	種の区間帯					
		α	β	γ	δ	ε	ζ
p_9	$\emptyset$ (空集合)						
p_8	$\{\zeta\}$						m_8
p_7	$\{\delta, \varepsilon, \zeta\}$				m_7	m_7	m_7
p_6	$\{\beta, \delta, \varepsilon\}$		m_6		m_6	m_6	
p_5	$\{\beta, \gamma, \delta\}$		m_5	m_5	m_5		
p_4	$\{\beta, \gamma, \delta\}$		m_4	m_4	m_4		
p_3	$\{\alpha, \beta, \gamma\}$	m_3	m_3	m_3			
p_2	$\{\alpha, \beta\}$	m_2	m_2				
p_1	$\emptyset$ (空集合)						

第2表 種の区間帯の離散表現.

種	産出地点	種の区間帯	
		最小区間	タプル
ζ	p_7, p_8	$m_7 \cup m_8$	(0,0,0,0,0,0,1,1,0)
ε	p_6, p_7	$m_6 \cup m_7$	(0,0,0,0,0,1,1,0,0)
δ	p_4, p_5, p_6, p_7	$m_4 \cup m_5 \cup m_6 \cup m_7$	(0,0,0,1,1,1,1,0,0)
γ	p_3, p_4, p_5	$m_3 \cup m_4 \cup m_5$	(0,0,1,1,1,0,0,0,0)
β	p_2, p_3, p_4, p_5, p_6	$m_2 \cup m_3 \cup m_4 \cup m_5 \cup m_6$	(0,1,1,1,1,1,0,0,0)
α	p_2, p_3	$m_2 \cup m_3$	(0,1,1,0,0,0,0,0,0)

3.3 生層序単元の離散表現

各 $f(p_i)$ のすべての種の微化石だけを産出する L 上の範囲 $\tilde{U}(p_i)$ を生層序単元とする(第3表). 定義または(3)で定まる種 α の区間帯 $\tilde{r}(\alpha)$ を用いて, $\tilde{U}(p_i)$ は区間帯の集合演算で

$$\tilde{U}(p_i) = (\cap_{\alpha \in f(p_i)} \tilde{r}(\alpha)) \cap (\cap_{\beta \notin f(p_i)} \tilde{r}(\beta)^c). \quad (6)$$

塩野・山口(2023)より, $\langle L, \cup, \cap, ^c, \emptyset, [x_0, y_0] \rangle$ と $\langle \mathbf{B}^n, \vee, \wedge, ', 0, 1 \rangle$ はブール同型である. $\tilde{r}(\alpha)$ に対応するタプルを $\tilde{r}(\alpha)$ と書くとき, $\tilde{U}(p_i)$ を表現するタプルは, (6)に対応するタプルの演算式で

$$(\bigwedge_{\alpha \in f(p_i)} \tilde{r}(\alpha)) \wedge (\bigwedge_{\beta \notin f(p_i)} \tilde{r}(\beta)'). \quad (7)$$

単純には, 定義と m_i の設定より, $f(p_i) = f(p_{i+1}) = \dots = f(p_j)$ のとき, $\tilde{U}(p_i)$ は,

$$\tilde{U}(p_i) = m_i \cup m_{i+1} \cup \dots \cup m_j. \quad (8)$$

この $\tilde{U}(p_i)$ に対応するタプル $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ の成分は,

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= a_2 = \dots = a_{i-1} = 0 \\ a_i &= a_{i+1} = \dots = a_j = 1 \\ a_{j+1} &= a_{j+2} = \dots = a_n = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

第3表 最小区間およびタプルによる生層序単元.

地点 p_i	種の集合 $f(p_i)$	生層序単元	
		最小区間	タプル
p_9	$\emptyset$	$m_1 \cup m_9$	(1,0,0,0,0,0,0,0,1)
p_8	$\{\zeta\}$	m_8	(0,0,0,0,0,0,0,1,0)
p_7	$\{\delta, \varepsilon, \zeta\}$	m_7	(0,0,0,0,0,0,1,0,0)
p_6	$\{\beta, \delta, \varepsilon\}$	m_6	(0,0,0,0,0,1,0,0,0)
p_5	$\{\beta, \gamma, \delta\}$	$m_4 \cup m_5$	(0,0,0,1,1,0,0,0,0)
p_4	$\{\alpha, \beta, \gamma\}$	m_3	(0,0,1,0,0,0,0,0,0)
p_3	$\{\alpha, \beta, \gamma\}$	m_3	(0,0,1,0,0,0,0,0,0)
p_2	$\{\alpha, \beta\}$	m_2	(0,1,0,0,0,0,0,0,0)
p_1	$\emptyset$	$m_1 \cup m_9$	(1,0,0,0,0,0,0,0,1)

4. おわりに

露頭断面中の試料から種の区間帯を定めて, 採取地点 p_i を含む最小区間 m_i を設定して, 種の区間帯を最小区間の和集合, タプルで離散表現した. 地点 p_i で産出する微化石の種の集合 $f(p_i)$ ごとに生層序単元を, 区間帯の集合演算, ブール演算で, あるいは, 単純に求めて離散表現した.

文 献

塩野清治・山口久美子(2023) 種の生存期間を離散的にデータ処理するためのブール代数—タプルの式への変換—. 情報地質, vol. 34, no. 1, pp.3-11.

https://doi.org/10.6010/geoinformatics.34.1_3

山口久美子・塩野清治(2024) 露頭断面中の試料中の微化石から推定される種の区間帯を表現する半開区間. 第35回日本情報地質学会講演要旨集, pp.25-26.