

原 著

Pleodorina Californica の細胞分裂過程 および細胞配列の解析

美 祢 弘 子

川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床栄養学科

(平成4年3月26日受理)

Analysis of Division Process and Cell
Arrangement in *Pleodorina Californica*.

Hiroko MINE

*Department of Clinical Nutrition
Faculty of Medical Professions
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-01, Japan
(Accepted March, 26, 1992)*

Key words : *pleodorina californica*, cell arrangement,
cell lineage, somatic cell, reproductive cell

Abstract

Continuous division of a mature reproductive cell (R cell) of *Pleodorina californica* brings about a monolayer cell sheet, which folds up to make a hollow spherical colony. The posterior half of a colony is occupied with R cells and the anterior half is occupied with somatic cells (S cells). Observation of this life cycle in detail leads to a hypothesis that cells located in the peripheral region of a sheet are predetermined to differentiate into R cells and cells located in the middle region are predetermined to S cells.

In this paper, the division history of cells within a sheet was followed up completely. With every division, symbol R was given to a daughter cell which took a more outer position of the sheet and symbol S was given to another daughter cell which took a more inner position. Thus lineage of cells was expressed in a special sequence of S or R. The degree of tendency to differentiate into R cell was hypothetically estimated depending on the number and arrangement of symbol R. All of the cells within a sheet were lined up in numerical order according to their degree to differentiate into R cell. It was clearly shown that cells estimated to have a larger ability to differentiate into R cell occupied a more outer position within a cell sheet.

要 約

Pleodorina californica の1個の成熟した reproductive cell (R cell) は連続する細胞分裂により単層の細胞シートを形成する。シートはやがておりたたまれて中空の球状の colony を形成する。colony の前半球は somatic cell (S cell) が占め、後半球は R cell が占める。このような life cycle のくわしい観察により、シートの周辺部分に位置する細胞が将来 R cell に分化し、シートの中央部分に位置する細胞が将来 S cell に分化することが明らかとなった。

本論文において、シート内の全ての細胞の分裂の歴史を完全に追跡した。各分裂で形成された2個の娘細胞のうち、シートのより外側に位置する方に R の記号を、より内側に位置する細胞に S の記号を与えた。このようにして細胞の系譜を S または R の並列により表すことができた。

シートを構成する細胞が将来 R cell に分化する可能性を、系譜に表された R の数と並び方に基づいて解析し、順序をつけた。この結果 R cell に分化しやすい細胞ほどシートのより外側に位置するという関係が明瞭に示された。

はじめに

Pleodorina californica の colony を構成する細胞数は、通常128 (2^7)、64 (2^6) または32 (2^5) である。¹⁾人為的な操作により16 (2^4)、8 (2^3)、4 (2^2) および2 (2^1) などの少数の構成細胞からなる colony をつくりだすことができる。このような構成細胞数の違いは細胞分裂を開始するときの reproductive cell (R cell) の成熟

の度合いに基づいている。colony 中には R cell のほかに細胞分裂能を欠いた somatic cell (S cell) が存在している。これら2種類の分化した細胞が1個の colony においてどのような比率で形成されるかは、非常に興味深く、多くの研究者により検討されてきた。^{2),3)}われわれも colony 中の S cell と R cell の比率が厳密に決められたものではなく、一定の範囲で様々な値をとること、およびそれが colony を構成する細胞数

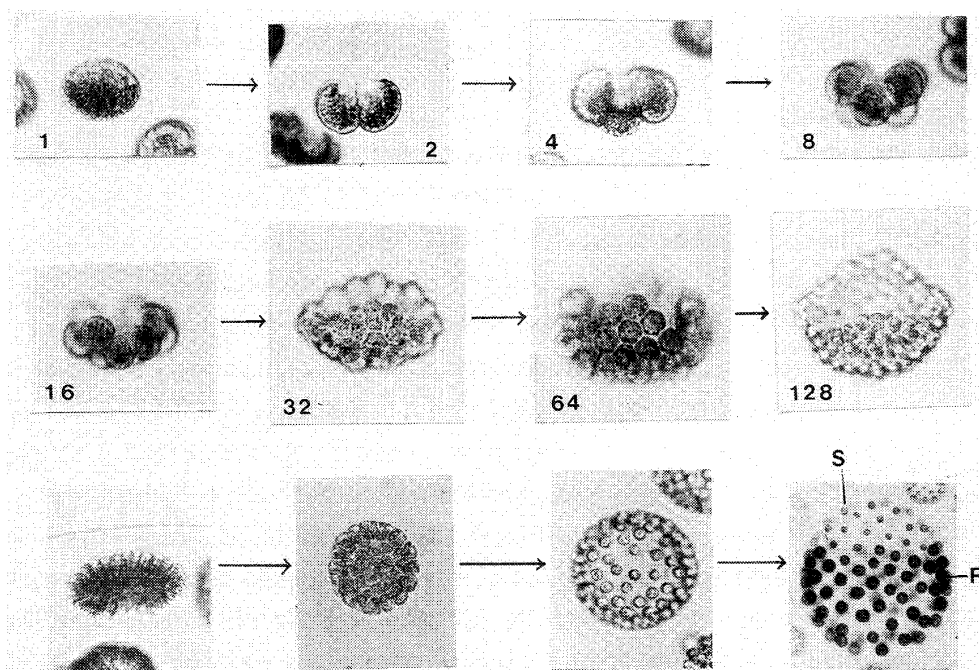


図1 *Pleodorina californica* の life cycle.
S=somatic cell, R=reproductive cell

結 果

I. *Pleodorina californica* の life cycle

1 個の R cell は同調、連続する 7 回の細胞分裂により 128 個の細胞からなるシートとなる。シートがおりたたまれて中空の colony となり、colony の成熟にともなって S cell と R cell の 2 種類の分化した細胞ができてあがる life cycle を図 1 に示した。分裂前の R cell は上下にすこしつぶれた球形をしている。上の細胞顆粒が少な

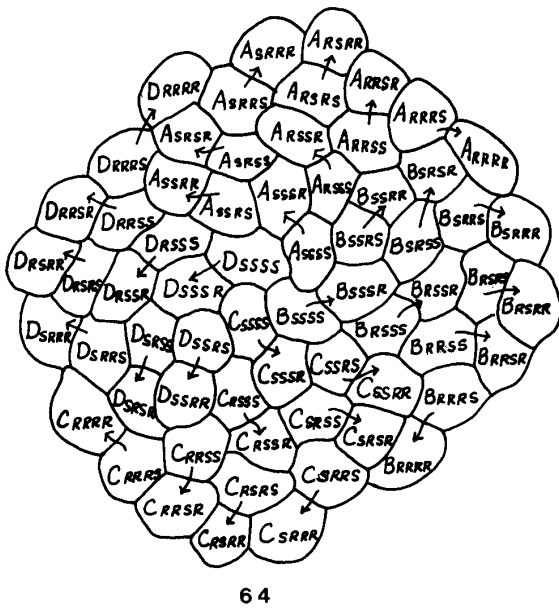


図 3 b 64細胞シートの系譜

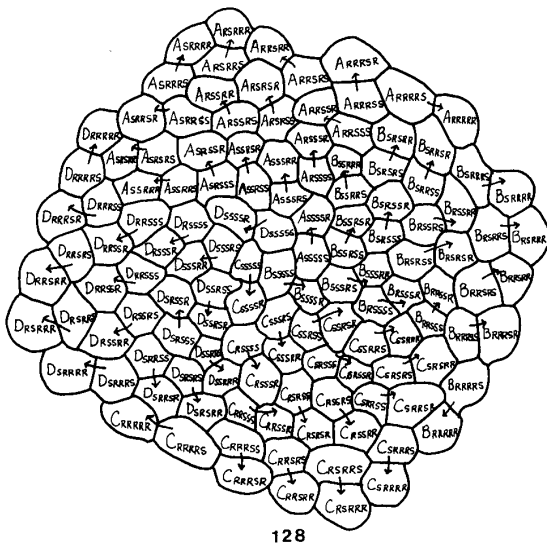


図 3 c 128細胞シートの系譜

い透明な部分には、写真にはあらわれていないが 2 本の鞭毛が存在する。細胞の下部には顆粒が多く、濃い緑色をしている。細胞分裂は常に上から下に向かう縦軸方向でのみおこる。横軸方向には分裂しない。このため細胞分裂の結果できあがったシートでは細胞は一層に並ぶことになる。細胞分裂の進行につれて、シートはだんだんと鞭毛側にわん曲する。分裂が終了すると、シートはいったん平らになり、ただちに逆方向にわん曲しはじめる。この際シートを構成していた細胞は扁平な形から円錐形へ、さらに球形へと変形する。わん曲したシートの隣り合う辺縁部分が互いにゆ合して、中空の小 colony ができる。colony はだんだんと大きさを増し、細胞は互いに離れる。しばらくすると細胞の分化が明らかとなり、colony の上半球に S cell が、下半球に R cell が局在することが明瞭となる。

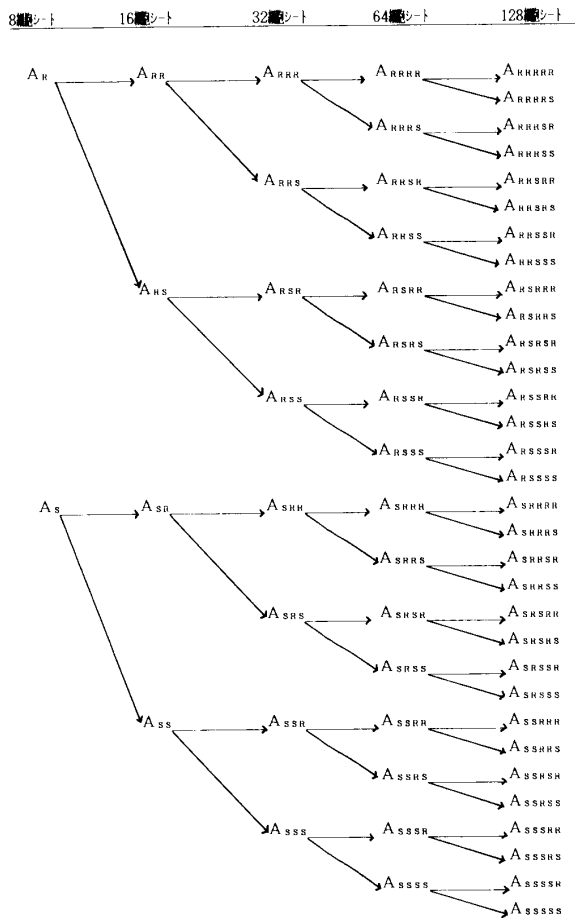


図 4 quadrant A における系譜の関係。矢印は各分裂で形成された 2 個の娘細胞を結んでいる。

colony の下半球にシートのゆ合跡が残っていることから、シートの周辺に位置していた細胞が colony の下半球を占めるようになり、R cell に分化するという関係がわかる。一方、シートの中央部分に位置していた細胞は colony の上半球を占めるようになり、S cell に分化することになる。

II. 細胞分裂過程の追跡と系譜の記載

life cycle の観察の結果、*P. californica* の細胞分化の方向決定には細胞分裂過程で形成されたシートにおける細胞配列が重要であることが示された。そこで細胞分裂過程にある6種類のシートについて細胞の相互関係を明らかにした。図2, a, b, は細胞分裂過程の6種類のシートの写真像である。わん曲したシートを強く押し潰し、上から写真撮影をおこなった。(life cycle に示したシートは側面像である。)このような写真をもとに細胞の輪郭をトレースしてシートにおける細胞配列を示す図を作成した。以後の細

胞分裂過程の解析はこのような図を用いておこなった。細胞配列は4細胞期に形成された4個のquadrantで同一であったのでこれらのquadrantをA, B, C, D, と命名した。図3, a, b, c, において、1個の細胞の分裂で形成された2個の娘細胞は矢印で結んである。矢印の頭側の細胞はシートのより外側に位置している。

4細胞期における細胞Aは分裂して8細胞期における A_R 細胞と A_S 細胞になる。この場合、シート(またはquadrant)の、より外側に位置する細胞を A_R と命名し、より内側の細胞を A_S と命名した。これはシートの外側に位置する細胞がR cellに分化し、内側に位置する細胞がS cellに分化するという仮説(life cycleの観察から導きだされたもの)に基づいている。B, C, D細胞についても同様である。 A_R 細胞は分裂すると16細胞期で A_{RR} 細胞と A_{RS} 細胞になる。 A_{RR} は A_{RS} よりもシートのより外側に位置している。 A_S 細胞は A_{SR} と A_{SS} に分裂し、 A_{SR} の

8細胞シート		16細胞シート		32細胞シート		64細胞シート		128細胞シート	
R : S	No.	R : S	No.	R : S	No.	R : S	No.	R : S	No.
(1 : 0) R	1	(2 : 0) RR	1	(3 : 0) RRR	1	(4 : 0) RRRR	1	(5 : 0) RRRRR	1
(0 : 1) S	2	(1 : 1) RS	2	(2 : 1) RRS	2	(3 : 1) RRRS	2	(4 : 1) RRRRS	2
		(1 : 1) SR	3	(2 : 1) RSR	3	(3 : 1) RRSR	3	(4 : 1) RRRSR	3
		(0 : 2) SS	4	(2 : 1) SRR	4	(3 : 1) RSSR	4	(4 : 1) RSSRR	4
				(1 : 2) RSS	5	(3 : 1) SRRR	5	(4 : 1) RSSRR	5
				(1 : 2) SRS	6	(2 : 2) RRSS	6	(4 : 1) SRRRR	6
				(1 : 2) SSR	7	(2 : 2) RSRs	7	(3 : 2) RRRSS	7
				(0 : 3) SSS	8	(2 : 2) RSSR	8	(3 : 2) RSSRS	8
						(2 : 2) SRRS	9	(3 : 2) RRSSS	9
						(2 : 2) SRSR	10	(3 : 2) RSRRS	10
						(2 : 2) SSRR	11	(3 : 2) RSRRS	11
						(1 : 3) RSSS	12	(3 : 2) RSSRR	12
						(1 : 3) SRRS	13	(3 : 2) SRRRS	13
						(1 : 3) SSRS	14	(3 : 2) SSRRR	14
						(1 : 3) SSSR	15	(3 : 2) SRSRR	15
						(0 : 4) SSSS	16	(3 : 2) SSRRR	16
								(2 : 3) RRSSS	17
								(2 : 3) RSRRS	18
								(2 : 3) RSSRS	19
								(2 : 3) RSSSR	20
								(2 : 3) SRRSS	21
								(2 : 3) SRSRS	22
								(2 : 3) RSSRR	23
								(2 : 3) SSRRS	24
								(2 : 3) SSRRS	25
								(2 : 3) SSSRR	26
								(1 : 4) RSSSS	27
								(1 : 4) SRSSS	28
								(1 : 4) SSRRS	29
								(1 : 4) SSSRS	30
								(1 : 4) SSSSR	31
								(0 : 5) SSSSS	32

図5 系譜と細胞分化の方向性の相関関係。(R : S) は各 quadrant の細胞の系譜に連記された両記号の比率を示す。系譜の後に記載した No. は、系譜から導き出した各細胞の R cell に分化しやすきの順位を示す。順位のつけかたは本文に記載した。

ほうが A_{ss} よりもシートのより外側に位置する。
このようにして128細胞期におけるすべての細胞

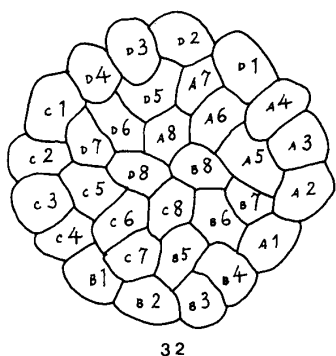
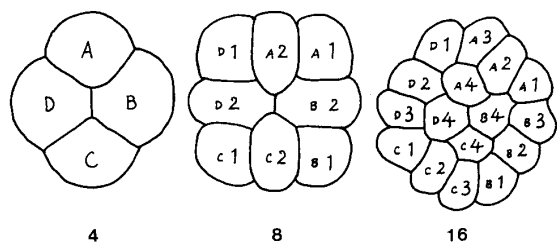


図6 a シートにおける細胞配列と分化の方向の関
係。4, 8, 16, 32, 個の細胞シートのA, B,
C, D の各 quadrant の細胞につけられた番
号は R cell への分化のしやすさの順位であ
る。番号が小さいほど R cell に分化しやす
く、同時にシートのより外側に配列している。

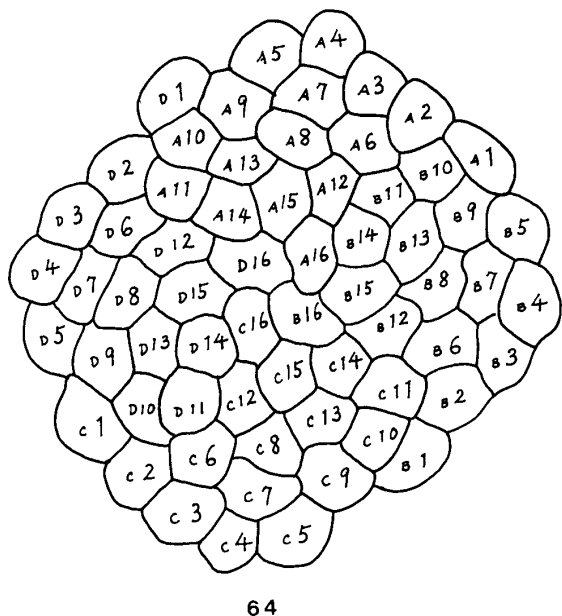


図6 b 64細胞シートにおける細胞配列と分化の方
向の関係。

に対して S または R を連記して細胞の系譜を
記載することができた。

4 個の quadrant の細胞配列と系譜は同一で
あるので, quadrant A における系譜のみをま
とめて図4に示した。

III. 細胞配列の解析

細胞分裂に基づいた系譜を R と S の連記で
表すことができた。次に, 各系譜の細胞が将来
どの程度の確率で R cell または S cell に分化
するかを仮説により検討した。各細胞数のシー
トの quadrant A のすべての細胞に R および S
の数と並び方により一連の番号をうった(図5)。
各細胞のうち, 連記された R の数が多いものほ
どより小さな番号をつけた。これは R の数が多い
ほどよりシートの外側に位置し, また将来,
より R cell に分化しやすいという仮説に基づい
ている。次に, R の数が同じ場合には R の並
んだ位置が, より前にある程, より小さな番号
をつけた。これは細胞分裂のより初期にシート
の外側に位置した細胞ほど将来 R cell に分化し
やすいという仮説に基づいている。このように,
細胞につけられた番号は将来 R cell に分化する
可能性の程度を示すとともに, 各細胞数のシー
トにおける位置も示すはずである。そこで番号
をうった細胞シートにおける配列を図示してみ
た(図6, a, b, c)。各細胞数のシートにはお

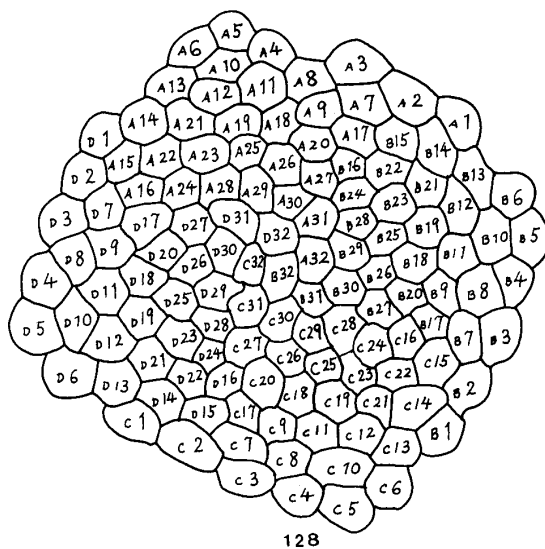


図6 c 128細胞シートにおける細胞配列と分化の方
向の関係。

なじ番号をうった細胞が4個ずつ存在する (A, B, C, D). 細胞配列は同心円状であり, シートの外側ほど小さな番号をうった細胞が規則正しく配列している様子が示された.

考 察

P. californica の1個の R cell の細胞分裂により形成されたシートは4個の quadrant からなり, それぞれの quadrant における細胞の系譜は同一である. もっとも細胞数の多い128細胞シートにおいても, 1個の quadrant に含まれる細胞数はわずか32である. また, シートにおける細胞の位置は動くことなく, 分裂で生じた2個の娘細胞の関係もつかみやすい. このため, シート上のすべての細胞の系譜の記載も容易に

おこなうことができた. *P. californica* の系譜については, すでに Gerisch⁷⁾が試みているが, 4, 8, 16, 32などの少数細胞からなるシートについてのみであり64および128細胞からなるシートについて完全な系譜の記載を行ったのは本論文がはじめてである. さらに, 系譜の記載方法も, 単に分裂の経過を示すに留まらず, 将来の分化の方向およびシートにおける位置の両者を示めするような記号で表すことができた.

P. californica の R cell と S cell の細胞分化がどのようなメカニズムでおこるかについてはまだ仮説の段階であり, 様々な説明がなされている^{8),9)}. われわれも今後, 今回得られた系譜を基に, *P. californica* における分化の比率決定のメカニズムを検討する予定である.

文 献

- 1) Bock F. (1926) Experimentelle Untersuchungen an koloniebildenden Volvocaceen. Arch. Protistenk., **56**, 321—356.
- 2) Kühn, A. (1971) Lectures on developmental physiology. Spring-Verlag Press. translated by Milkman R., 2nd ed., New York, pp 112—118.
- 3) 生島茂伸, 丸山節子 (1964) bolvox における形態形成. 実験形態学誌, **18**, 1—16.
- 4) 美祢弘子 (1991) *Pleodorina californica* における細胞分化. 川崎医療福祉学会誌, **1**, 107—114.
- 5) Shaw, W.R. (1894) *Pleodorina*, a new genus of the Volvocineae. Bot. Gaz., **19**, 279—284.
- 6) Darden, W.H.Jr. (1966) Sexual differentiation in *Volvox aureus*. J. Protozool., **13**, 239—255.
- 7) Gerisch, G. (1959) Die Zelldifferenzierung bei *Pleodorina californica* und die Organization der Phytomonaden kolonien. Arch. Protistenk., **104**, 292—358.
- 8) Arita, S., Mine H. (1990) Mathematical model for the cell-differentiation based on spatial arrangements and division history. Bull. of the Biometric Soc. of Japan., **11**, 69—82.
- 9) 美祢弘子, 有田清三郎 (1990) *Pleodorina californica* の細胞分化における "fuzzy cell". Biomed. Fuzzy Sys. Bull., **1**, 36—44.