

日本医科大学基礎科学紀要

第 45 号 2016 年 12 月

The Bulletin
of
Liberal Arts & Sciences
Nippon Medical School

No. 45, December 2016

目 次

- UPI (University Personality Inventory) からみる
本学新入生の特徴
鋤柄のぞみ・加藤優子・樫村正美・野村俊明 … 1
- The freshman's characteristic based on the UPI score
Nozomi SUKIGARA, Yuko KATO,
Masami KASHIMURA, Toshiaki NOMURA
- 対数関数 儀我真理子 … 19
Logarithmic Function Mariko GIGA
- 統計力学に基づく細胞ダイナミクスの計算手法について
藤崎弘士 … 29
- On some numerical methods to calculate cellular
dynamics based on statistical physics
Hiroshi FUJISAKI
- Implementing an Extensive Reading Project
at a Medical School in Japan
Paul Stone, Sumie NISHIKAWA … 51

〈論文〉

UPI (University Personality Inventory) からみる 本学新入生の特徴

鋤柄のぞみ*・加藤優子*・樫村正美**・野村俊明**

The freshman's characteristic based on the UPI score

Nozomi SUKIGARA, Yuko KATO,
Masami KASHIMURA, Toshiaki NOMURA

問題と目的

大学精神保健調査票 (University Personality Inventory、以下UPIと表記) とは、1960年代から70年代に本邦で開発されて以来、大学生の精神健康の把握などを目的に、大学保健の領域で使用されている簡易な質問紙調査法のひとつである (平山・全国大学メンタルヘルス研究会、2011)。本人が自覚する症状を問う自覚症状56項目と活動性など健康感を問う陽性項目4項目、計60項目で構成されており (詳細は表1を参照のこと)、自覚症状の内訳は、精神身体的訴え、抑うつ傾向、対人不安 (劣等感)、強迫傾向・被害関係念慮の4領域に分けられる。最近1年間で当てはまるものをチェックする自己申告に基づいており、チェックされた項目数をそのまま得点として、チェックされた項目内容とともに理解することで学生の精神健康を把握できる。なお、自覚症状56項目の得点では9~16 (濱田・鹿取・荒木・池田・加藤・福田・佐藤、1991)、自覚症状と陽性項目をあわせたUPI得点では17.9 (平山他、2011) が全国の大学から報告される平均値として知られている。

UPIに関する研究や実践報告は数多く、文献整理を行った平山他 (2011) によると、現役生と多浪生、留学生など群別の特性や、他の心理検査との相関、留年

* 日本医科大学・学生相談室 Students Counseling Room, Nippon Medical School

** 日本医科大学・医療心理学教室 Department of Medical Psychology, Nippon Medical School

表1 UPI 項目一覧と各領域の対応表

1. 食欲がない	16. 不眠がちである	31. 赤面して困る	46. 体がだるい
2. 吐気・胸やけ・腹痛がある	17. 頭痛がする	32. 吃ったり、声かふるえる	47. 気にすると冷や汗がでやすい
3. わけもなく便秘や下痢しやすい	18. 首筋や肩がこる	33. 体がはてったり、冷えたりする	48. めまいや立ちくらみがある
4. 動悸や脈が気になる	19. 胸が痛んだり、しめつけられる	34. 排尿や性器のことが気になる	49. 気を失ったり、ひきつけたりする
5. いつも体の調子が良い	20. いつも活動的である	35. 気分が明るい	50. よく他人に好かれる
6. 不平や不満が多い	21. 気が小さすぎる	36. なんとなく不安である	51. こだわりすぎる
7. 親が期待しすぎる	22. 気疲れする	37. 独りでいると落ちつかない	52. くり返し確かめないと苦しい
8. 自分の過去や家庭は不幸である	23. いらいらししやすい	38. ものごとに自信をもてない	53. 汚れが気になって困る
9. 将来のことを心配しすぎる	24. おこりっぽい	39. 何事もためらいがちである	54. つまらぬ考えがとれない
10. 人に会いたくない	25. 死にたくなる	40. 他人にわるくとられやすい	55. 自分の変な匂いが気になる
11. 自分が自分でない感じがする	26. 何事も生き生きと感じられない	41. 他人が信じられない	56. 他人に陰口を言われる
12. やる気が出てこない	27. 記憶力が低下している	42. 気をまわしすぎる	57. 周囲の人が気になって困る
13. 悲観的になる	28. 根気が続かない	43. つきあいが嫌いである	58. 他人の視線が気になる
14. 考えがまとまらない	29. 決断力がない	44. ひげ目を感じる	59. 他人に相手にされない
15. 気分が波がありすぎる	30. 人に頼りすぎる	45. とりこし苦労をする	60. 気持ちが悪くつけられやすい
精神身体的訴え（心気的症状）：14, 16-19		精神身体的訴え（自律神経症状）：31,34, 46-49	
陽 性 項 目			
抑うつ傾向：6-15, 21-30		対人不安（劣等感）：36-45	強 迫 傾 向：51-55
			被害関係念慮：56-60

出典：平山皓・全国大学メンタルヘルス研究会(著). 2011. UPI利用の手引き, P.46に図示および解説されている「UPI: A5版カード」を基に鋳柄が作成した。

や不登校などの不適応状態および疾病のスクリーニングや追跡調査、経年変化等がある。例えば、群別の検討では、奥田・黒田・白石（1992）は同じ大学内での学部間比較を行っており、自覚症状の得点平均値について、文科系学部では文学部（ $M=11.03$ ）、理科系学部では理学部（ $M=10.48$ ）が相対的に高く、理科系学部内では医学部（ $M=9.23$ ）が相対的に低いと報告している。医学部について言えば、三木・本田（1989）による10.7、宮本（2010）による7.73という平均値の報告も知られている。また経年変化の検証では、女子大学を対象に1972年～2014年のUPI得点を検証した岡・吉村・山岸（2015）、90年代の自覚症状得点を検証した願興寺・小塩・桐山（2007）と喜田・高木（2001）が一例としてあげられよう。いずれも得点平均値の上昇傾向を述べている。なお、多くの大学が、UPIへの回答を求める調査（以下、UPI調査）で終わらずに、何らかの方法で個別面接も併せて実施しており、その実践報告や検証も少なくない。例えば、岡・鉦・山岸（2010）は、適応や精神健康上のリスクがあるとされる高得点者を学生相談室に呼び出す面接事例を通して、彼らの特徴や潜在的ニーズを検討している。

このように全国の大学で実施されていて先行研究も数多いUPIだが、本学で導入されたのは学生相談室が正式に設置された1995年にあたり、現在も年1度のペースで継続している。その主な目的は、他大学と同様に新入生の精神健康を

把握すること、必要と判断される学生に相談室の利用を促すこと、相談室とカウンセラーの広報である。対象は新入生であり、入学して間もない時期の定期健康診断日を実施場面および日時としてきた。大教室の半分を面接スペースに（パーティションで区切られた4つのブースが設置される）、残り半分をUPIの記入および順番待ちスペースとし、UPIに記入の済んだ学生から全員が順番に面接を3～5分程受ける流れであった。面接は、臨床心理士である学生相談員と附属病院精神科医師の2～3名で担当し、全過程を終了後に全員で情報を共有してきた。その内容は、緊急性が認められない限りは学生相談室内にとどめることとし、学生に自由に回答してもらうため他の教職員に知らせないようにしている。ただし、当該年度の集計値は、年報にあたる学生相談室報告書に毎年報告してきた。本論では、以上の方法で実施してきた本学のUPI調査と個別面接が20年を超えたことを節目として、本学新入生のUPI特徴と傾向をまとめることで、学生個々人の回答結果を理解するための指針や個別面接時の基本資料として今後にかけていきたいと考える。なお、UPIに関する数量的検証で一般に扱われるのは、UPI得点などの得点平均値と質問項目の内容になるが、本論では前者の得点を取り扱うこととした。すなわち本論の目的は、これまで実施してきた20年間（1995年～2014年）の得点記録に基づき、本学学生の入学時におけるUPI結果の特徴や傾向について検討することである。

なお、過密なカリキュラムをはじめとする医学部特有のストレス要因が知られており（内田、2007、2010）、海外の研究では医学生の抑うつ・不安の頻度は高いとされる（宮本、2010）が、医学生を対象にしたUPIの先行文献は上述の奥田他（1992）と三木他（1989）、宮本（2010）など一部に限られている。本論では、平山他（2011）や濱田他（1991）、岡他（2015）等によって報告されている大学生の一般的傾向を参照にしつつも、奥田他（1992）や三木他（1989）、宮本（2010）の報告に見られる医学生のUPI特徴と照らし合わせながら、可能なだけ医学生という視点から考察していきたいと考える。

方 法

受検者に対しては、UPI用紙上で、守秘原則に基づく情報管理の約束とともに個人が特定されない統計分析の実施と公表について伝えており、回答をもって承諾を得たものとしている。

(4)

ローデータが保存されている2006年～2014年については、自覚症状56項目と陽性項目の4項目、両者の総計であるUPI得点、また、自覚症状を構成する4領域の精神身体的訴え、抑うつ傾向、対人不安（劣等感）、強迫傾向・被害関係念慮、それぞれの得点平均値を各年度で算出する。その後、他の年度で採用している回答方式（該当項目のみチェックを付ける）とは異なる回答方式（60項目全てに○×いずれかを記入する）を唯一採用していた2007年を条件統制のため除いた8年分、2006年と2008年～2014年の総計と平均値を算出し年度間の差を統計分析にかける。UPI得点については得点分布図を作成して資料とする。なお、条件統制のため検定対象からは除外する2007年の集計値だが、参考資料として図表上には記すこととする。

個人情報に配慮のうえでローデータが廃棄されている1995年～2004年については、学生相談室報告書第1号～第11号に自覚症状の得点平均値が記録として残されているだけで、陽性項目とUPI得点、自覚症状の4領域それぞれの得点平均値およびSDは不明である。そのため、1995年～2014年の20年間全体および推移については、2006年以降と同様の統計分析は出来ず、また自覚症状の得点平均値のみを検証対象にするしかない。そこで1995年～2014年の年次推移については、学生相談室報告書に残されている1995年～2004年の自覚症状の得点平均値記録と2006年以降の統計値（2005年度は記録が無記載のため扱わない）をプロットしたグラフを作成することで、その概観を把握する資料とする。

結 果

1) 基本統計量：2006年～2014年

2006年～2014年の9年分を対象者は949名（男性644名、女性305名）、年齢無記入の16名を除く933名での平均年齢は19.33歳（SD：2.056）であった。2007年を除く8年では対象者は850名（男性576名、女性274名）、年齢無記入の9名を除く841名での平均年齢は19.74歳（SD：2.056）であった。表2に示す通り、他の年度と異なる回答方式で調査した2007年が、UPI得点をはじめ全体的に他年度より高いことが一瞥できる結果となった。その2007年を除く2006年と2008年～2014年の8年分では、本学新生の自覚症状の得点平均値は3.95～8.28であり、総計の平均値は5.91であった。UPI得点の平均値も8年分で4.44～8.89となり、その総計の平均値は6.62であった。自覚症状の各領域については、

表2 基本統計量：各年度および全体の得点平均値（SD）（2006年～2014年）

年度	＜受検者数＞			＜UPI得点＞		
	男性	女性	全体	自覚症状	陽性項目	UPI得点
2006	67	28	95	8.28 (7.652)	0.64 (0.886)	8.89 (7.677)
2007	68	31	99	12.30 (10.577)	1.77 (1.427)	14.01 (10.661)
2008	65	35	100	6.52 (6.457)	0.76 (0.986)	7.26 (6.594)
2009	70	39	109	6.05 (6.312)	0.94 (1.091)	6.92 (6.348)
2010	73	28	101	6.49 (5.885)	0.47 (0.807)	6.91 (5.814)
2011	76	34	110	5.33 (6.208)	0.89 (1.147)	6.22 (6.287)
2012	73	38	111	5.98 (5.705)	0.80 (1.075)	6.80 (6.962)
2013	80	30	110	5.21 (5.705)	0.75 (1.044)	5.95 (5.610)
2014	72	42	114	3.95 (4.230)	0.49 (0.823)	4.44 (4.334)
2007を除く総計	576	274	850	5.91 (6.287)	0.72 (1.001)	6.62 (6.322)
2007を含む総計	644	305	949	6.58 (7.126)	0.83 (1.009)	7.39 (7.256)

年度	＜自覚症状の領域別＞			
	精神身体的訴え	抑うつ傾向	対人不安	強迫傾向・被害関係念慮
2006	1.86 (2.248)	3.72 (3.410)	1.66 (2.024)	1.05 (1.678)
2007	3.06 (2.989)	4.86 (4.449)	2.30 (2.349)	2.08 (2.262)
2008	1.57 (1.898)	2.42 (2.764)	1.14 (1.614)	1.41 (1.410)
2009	1.35 (1.833)	2.69 (2.899)	1.11 (1.536)	0.90 (1.521)
2010	1.65 (1.797)	2.78 (2.700)	1.11 (1.580)	0.94 (1.363)
2011	1.30 (1.651)	2.10 (2.797)	1.11 (1.737)	0.73 (1.196)
2012	1.40 (1.722)	2.50 (3.243)	1.10 (1.715)	1.00 (1.572)
2013	1.35 (1.627)	2.34 (2.744)	0.85 (1.458)	0.66 (1.119)
2014	1.27 (1.652)	1.75 (2.398)	0.75 (1.174)	0.40 (0.725)
2007を除く総計	1.46 (1.809)	2.53 (2.912)	1.10 (1.624)	0.82 (1.354)
2007を含む総計	1.62 (2.024)	2.77 (3.186)	1.22 (1.752)	0.95 (1.523)

注) 2007年は他の年度と異なる回答方式を採用しており、年度間の差の検定対象からは除外したが、参考値として図表には記載することとした。

精神身体的訴え、抑うつ傾向、対人不安（劣等感）、強迫傾向・被害関係念慮いずれも年度ごとに違いが認められ、各値は、それらの合算である自覚症状得点に準じる結果を示した。一方、活動性や明るさの指標とされる陽性項目の得点平均値も、2007年を例外として0.49～0.94といった1点未満の結果となり、2006年と2008年～2014年の8年分総計の平均値は0.72であった。

(6)

2) 各年度間の差：2006年および2008年～2014年

自覚症状と陽性項目、両者の総計であるUPI得点、そして自覚症状の領域別に、2006年および2008年～2014年の間に差があるかどうかを検討するため、それぞれ、年度を独立変数としたTukey法による一元配置分散分析と多重比較にかけた。2007年は、先述のとおり、条件統制のため検定対象から除外した。結果は以下の通りである。

自覚症状

各年度の間に主効果が認められた ($F(7,842) = 4.227, p < .000$) (表3、図1)。2006年 ($M = 8.28$) は2011年 ($M = 5.33$)、2013年 ($M = 5.21$)、2014年 ($M = 3.95$) より有意に得点平均値の高いことが認められた。2006年と2014年の差は2倍以上となった。すなわち該当の8年では、2006年が自覚症状の得点平均値が比較的高く、また最大値を示しており、その後、2011年、2013年、2014年で減少した。

陽性項目

各年度の間に主効果が認められた ($F(7,840) = 3.250, p < .002$) (表3、図1)。2009年 ($M = 0.94$) は、2010年 ($M = 0.47$) と2014年 ($M = 0.49$) よりも有意に得点が高く、また、その2014年は、2011年 ($M = 0.89$) よりも有意に得点の低いことが分かった。すなわち、明るさや活動性の実感に関する陽性項目では、0.5に満たない値を出した2010年と2014年を最小値として年度ごとに違いのある結果となった。

UPI得点

各年度の間に主効果が認められた ($F(7,842) = 4.269, p < .000$) (表3、図1) 2006年度 ($M = 8.89$) は、2011年 ($M = 6.22$)、2013年 ($M = 5.95$)、2014年 ($M = 4.44$) よりも有意に得点平均値が高く、2006年と2014年の得点差は2倍であった。さらに2014年は、2006年に加えて、2008年 ($M = 7.26$) と2009年 ($M = 6.92$) よりも有意に値の低いことが分かった。なお、2010年度 ($M = 6.91$) は他の年度のどことも有意差が認められなかった。最大値を出した2006年から最小値を出した2014年にかけて、途中6点台が続く数年を経て、UPI得点の平均値は減少していた。

表 3 統計分析結果

	主効果 F 値	多重比較
自覚症状	4.227 **	2006 > 2011, 2013, 2014
陽性項目	3.250 **	2009 > 2014, 2010 2009, 2011 > 2010
UPI 得点	4.269 **	2006 > 2011, 2013, 2014 2006, 2008, 2009 > 2014
精神身体的訴え	1.332	
抑うつ傾向	3.986 **	2006 > 2008, 2013, 2011, 2014
対人不安	2.836 **	2006 > 2013, 2014
強迫傾向・被害関係念慮	2.916 **	2006, 2008 > 2014

Tukey 法による一元配置分散分析と多重比較

*... $p < .05$, **... $p < .01$

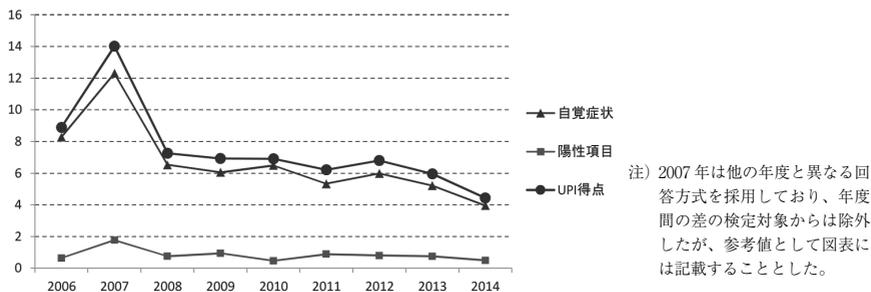


図 1 得点平均値 (自覚症状、陽性項目、UPI得点) : 2006年～2014年

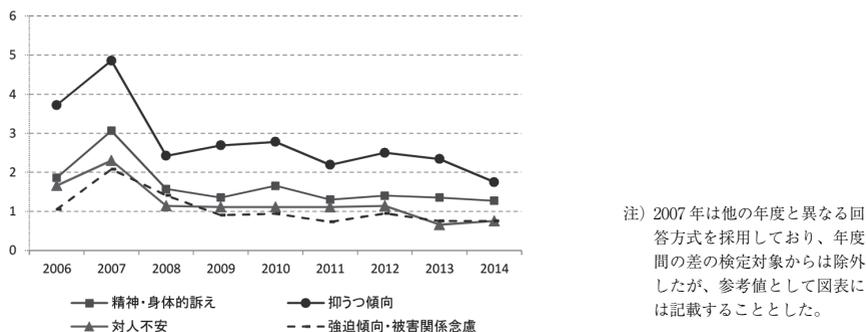


図 2 自覚症状の領域別得点平均値 : 2006年～2014年

(8)

自覚症状の4領域

自覚症状を構成する4領域のうち、精神身体的訴えを除く3領域において、それぞれ主効果が認められた(表3、図2)。

抑うつ傾向では、2006年($M=3.72$)が、2008年($M=2.42$)、2013年($M=2.34$)、2011年($M=2.19$)、2014年($M=1.75$)よりも有意に得点平均値が高かった($F(7,842)=3.986$, $p<.000$)。2006年を最大値として、2008年には値が有意に減少し、その後上昇した年があるものの2006年にはおおよそ、2014年には最小値を示した。

対人不安(劣等感)では、2006年($M=1.66$)が、2013年($M=0.85$)と2014年($M=0.75$)よりも有意に得点平均値が高かった($F(7,842)=2.836$, $p<.006$)。2006年を最大値としつつ2012年まではほぼ同等の値だったが、2013年と2014年で、2006年に比して有意に減少したことになる。

強迫傾向・被害関係念慮では、2014年($M=0.4$)が、2006年($M=1.05$)と2008年($M=1.41$)よりも有意に得点平均値が低かった($F(7,842)=2.916$, $p<.005$)。2006年～2013年まではほぼ同等の値だったが、2014年で、2006年と2008年に比して有意に減少したことになり、その値($M=0.4$)は2006年～2014年のなかで最小値になることが分かった。

3) 得点分布：2006年～2014年

自覚症状と陽性項目の総計であるUPI得点で得点分布を出した。2006年と2008年～2014年(850名)の分布が図3-1、2007年を参考値として並べた年度別の分布が図3-2である。2006年と2008年～2014年の8年分では、60点中0点～5点の範囲に該当する新入生が55%におよび、15点未満に90%がおさまる結果となった。各年度の分布図では、2007年を例外に、2006年から2014年にかけての0点帯の増加と、16～25点帯と26点以上の減少が一瞥できる結果となった。一部のみ数値をあげると、2006年は0点帯が3%で16～25点帯が11%、26点以上が5%であったが、2014年は0点帯が14%で16～25点帯が3%、26点以上が0%であった。

4) 自覚症状：1995年～2014年

記録が残っていない2005年を除き、1995年～2004年、2006年～2014年の得点平均値をプロットしてグラフ化したものが図4になる。他の年度と回答方式の

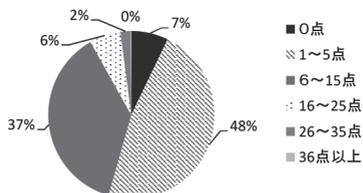


図 3-1 得点分布：2006 年、2008 年～ 2014 年 (N=850)

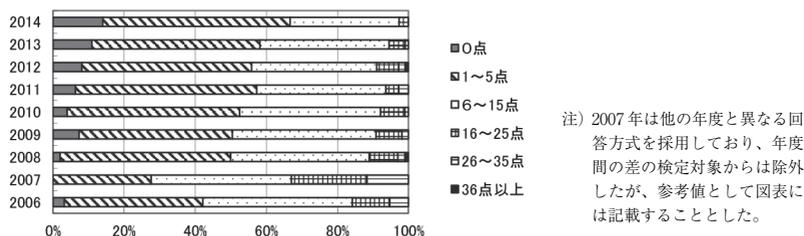
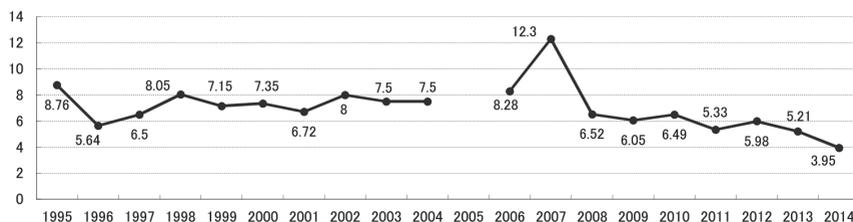


図 3-2 得点分布：2006 年～ 2014 年別



注) 2007 年は他の年度と異なる回答方式を採用しており、年度間の差の検定対象からは除外したが、参考値として図表には記載することとした。

図 4 自覚症状の得点平均値：1995 年～ 2014 年

異なる 2007 年が、20 年間で最も値が高く、唯一 10 点台を出したことが分かった。その 2007 年を除くと、本学での調査 1 回目にあたる 1995 年が最大値、20 回目にあたる 2014 年が最小値となり、他は 3.95～8.76 の範囲におさまる結果となった。6～7 点台の出現頻度が 9 回と最も多く、そのうち 7 点台は前半 10 年（1995 年～2004 年）に集中しており、8 点台も 2006 年以前で計 4 回であった。同じく計 4 回認められる 5 点台は、1996 年 ($M=5.64$) の 1 回を除くと、2011 年～

2013年の近年に連続したことが一瞥できる結果となった。

考 察

低得点傾向に関する検討

全国の大学における得点平均値は、自覚症状、陽性項目、両者の総計であるUPI得点、いずれも大学や学科や年度ごとにばらつきが認められるとされる(平山他、2011)。そのうち自覚症状得点については、全国の大学で報告される平均値は9～16点台だと言われる(濱田他、1991)が、医学部については、奥田他(1992)では9.23、宮本(2010)では7.73、三木他(1989)では10.7である。また、全国の先行文献を整理した平山他(2011)は、UPI得点の全国平均値をおよそ17.9と記している。本学新入生については、2006年と2008年～2014年の8年で算出した基本統計量(表2)、UPI得点の得点分布図(図3-1、3-2)、また、1995年～2014年の自覚症状の得点平均値の年次推移(図4)が示すように、自覚症状およびUPI得点の平均値は全国の大学から報告される値と比べて全体的には低い。例えば、2006年～2014年の8年分総計では、本学新入生の自覚症状の得点平均値は5.91、UPI得点のそれは6.62であった。また、年度間の差の検定からは除外した2007年を加えた9年分の総計を見ても、自覚症状の得点平均値は6.58、UPI得点は7.39であった。全国のなかで得点が低いことは、奥田(1992)や宮本(2010)、三木他(1989)といった医学部の低得点傾向に本学も一致したと言える。しかし同時に、それら医学部3件のなかでも、本学のUPI結果は特に低い値になっている。

精神健康度を問うUPIでの低得点を文字通りに理解すれば、本学新入生は精神健康度の高い学生が多い、ということになる。自覚症状に関する得点平均値の低さは、受験勉強から解放された入学1か月後、晴れて医学生としての一步を踏み出した調査時期のタイミングも関係するだろう。ただ、心身にかかる負荷量の多い受験期を含む最近一年間を聞いているにも関わらず低得点であることから、本学新入生の低得点を精神健康度の証明にすることは慎重にしたいと考える。それは、もし心身とも健康度が高いならば、活動性や明るさを反映する陽性項目は逆に値が高くなると推測するが、本学新入生の陽性項目は自覚症状と同じく低得点になったためである。つまり、2006年と2008年～2014年の8年分で本学の陽性項目の平均値は0.72であったが、全国の大学では1.15～2.6(平山

他、2010)、本学と同じ医学部について言えば1.98(奥田他、1992)、0.41(宮本、2010)であった。このうち奥田他(1992)の報告では、文科系学部に比べて医学部の自覚症状($M=9.23$)は約1~2点低い一方で、陽性項目は文科系学部よりも高い値($M=1.98$)を示している。このような、自覚症状の得点は低く陽性項目のそれは相反して高いという現象は、本学では2011年が唯一であった。全体的傾向としては奥田他(1992)に一致しない結果と考える。むしろ、自覚症状と陽性項目ともに得点平均値の低かった宮本(2010)に近いと言えるだろう。宮本(2010)は、両者揃って低得点なことについて、「(中略)むしろ健康的な側面であれ身体的・精神的不調に関する項目であれ、自身の状態について自覚や反応に乏しいという特徴をあらわしているのではないかと考えられる」と述べている。良好な精神健康の反映としての自覚症状の低得点ではなく、UPIへの反応および自覚自体が低いことの指摘である。宮本(2010)は続けて、「(中略)その背景には目の前の現実的課題をこなすことが求められる等、自分の状態にあまり関心を向けていられないという医学部特有の環境要因が影響しているのかもしれない」と述べた。つまり、忙しさや、過密なカリキュラムや受験勉強等が優先され、自分に深く配慮してられない状況下で悩めない、悩んでいる余裕がない状況と表現できよう。本学の新入生に照らして考えると、まずは難易度が高くて過密な受験勉強は想像に難くないのであり、UPI実施時期の5月は、新しい人間関係や環境、数々の学事イベント、部活の勧誘、大学のカリキュラム等への適応に追われ続けている頃でもある。初めての一人暮らしを開始させた学生もいる。こなさなければならぬ具体的な出来事は多い。ストレスの存在や影響は感じていても、心身の状態に注意を払い続けることや、微細に気づくこと、腰を据えて悩むことの難しさは充分考えられる。そういった悩んでいられない状況と、葛藤や問題の一時的な棚上げ状態が、UPIに対する反応の低さ、ひいては低得点の背景のひとつという可能性はある。心身の変調や問題を感じていないか、感じていても過小評価している場合、本人の自覚に基づく自己申告である以上、UPIの回答数は当然少なくなる。UPIの得点結果から本学新入生を描写するならば、身体的にも精神的にも不調は感じていない(自覚症状の低得点)が、気分や活力、うまく適応できているという実感や自信も特に感じていない(陽性項目の低得点)と言えるだろう。あるいはまた、彼らの健康状態の表現として、明確な身体症状や心的苦痛の訴えはUPIで顕在しなかったと考える。

以上とはまた別に、低得点の背景として考えられることは、心身の不調や異変

を直接問う項目への回答を拒絶したり抑制したりといった防衛がある。平山他(2011)は、「(中略)特に5以下は過小が問題で、拒否・警戒の姿勢がうかがえる。このなかには発病初期の警戒感の強い統合失調症が含まれることも承知しておく必要がある」と述べている。自分を隠そうとする防衛から回答の回避や抑制が働いた可能性は、調査時に学生が見せる態度や言動を思うと本学でもありえることと言えよう。UPIは、心身の健康状態や問題を扱っていることが学生の目にも分かりやすいため、数多く回答することへのためらい自体は不自然ではない。マイナスな評価や不利益を避けたい心理から回答を控えることはあるだろう。内田(2010)は、クラスの人数が少ないこと等を背景としてあげつつ、医学部特有のストレス要因のひとつとして「(中略)長い学生生活における交際範囲は狭くなりやすく、人間関係でつまずくとやり直しにくい面があると考えられる」と述べている。単科ゆえに1学年が100～110余名のみで構成される本学でも、所属意識が自然と作られて絆や助け合いになる利点の一方で、その集団内で人間関係のトラブルや悩みを抱えると引きずりやすいと言える。そのことを入学時点で理解している新生児は多いと思われる。同級生になじめるか、受け入れられるか、どんな評価が自分に下されるかを意識するとき、異質性を疑われること、詮索されること、精神健康に関するマイナス評価への敏感さや不安があっても自然である。そうした意識が、身体症状や精神症状を問うUPIへの戸惑いや抵抗につながり、回答および得点結果に影響した可能性が考えられる。これについては、本学ではUPI記入スペースと個別面接の順番待ちスペースが兼用であったため、面接担当者に対する意識だけではなく、同じ場所にいる同級生への意識も働いたと考えられる。同級生の耳目が気になる状況下で正直な回答が抑制された可能性はある。

ここまで、本学新生児の低得点の背景について、悩めないこと、防衛や回避、抑制といった比較的マイナスな側面を述べてきた。ただ、こちらが問題視するほど深刻な事態ではなく、面倒くさい気持ちや軽い気持ちから適当にやり過ごしただけの学生もいると考えられる。精神保健への関心度、自分自身と結びつけて考える意識の薄さや、不真面目さを推察してみるが、それらは健康な大学生の態度としては普通にありえると言えよう。本当に問題がなく健康なのか、問題はあがるが自覚していないのか、あるいは、本当は自覚しているが意図的に隠しているのか、その判別はUPIだけでは難しく本検証の限界と考える。

また一方で、低得点傾向の肯定的な理由および背景として、医学生であることの強みを考える。奥田他(1992)は、志望学部によるUPI結果の違いについて、

学生の平均的な心的特性の相違が反映されているだろうと述べた。例えば、文学部や人間科学部、理学部といった基礎的・理論的な色彩の強い学部志望者は、経済学部や医学部、薬学部といった応用・実学的な学部に比べて自覚症状得点が高いとされる（奥田他、1992）。本学新入生も該当する青年期は、自分は何者か、どう生きるのかといった自我同一性を模索して確立していく時期にあたる。身体的には成熟していても、心理的社会的には宙ぶらりんの中途半端な時期で不均衡による不安定さがあり（願興寺他、2007）、勉学、就職活動、部活動、友情や恋愛等の悩みを通して自分自身について迷い、不適応感を抱く青年期の若者は多いと言える。受験時および入学時に将来の職業像が具体的に定まっている者は多くないと考えられるが、本学新入生の場合、受験に臨む段階で将来の仕事をはほぼ決定していることになり、医療系大学を志望する学生の将来に対する目的意識や職業意識の高さ（岸本・岡村、2008）がうかがえる。漠然としたまま大学進学を選んだ同世代との違いがあるだろう。また、卒後のキャリアプランは不透明であっても、一生の仕事に向けてどう歩んでいけばいいかが入学時点で明示されている点も一般の大学生と違うと言えよう。つまり、医師という具体的に明確な職業像があること、そのはっきりした目的意識と将来への展望は、過酷な受験期に彼らの精神的な支柱や指針になったのではないだろうか。病死および身体的苦痛から人を救う医学の目的や意義は分かりやすく、社会的評価も高く、それを志している誇りや自負もあるだろう。そうした強みが、ストレス下でも大きな精神的不調に陥ることを防ぎ、自我同一性の深刻な揺らぎや危機の回避を助けた可能性が推察される。あるいはまた、職業および将来の選択にまつわる葛藤を終えたこと、道を決めたことで得た精神的安定を考える。

以上が、UPI で得られた本学新入生の低得点傾向について、その背景要因として考えられた事項である。実際に低得点の学生と対面する個別面接では、得点通り心身とも問題のない学生もいれば、用紙上はチェックしていないが実は当てはまると話す学生もいるし、自分は大丈夫だから何も聞いてくれるなどという防衛的な態度の学生もいる。UPI の限界、また、低得点の背景や理由を複数ふまえたうえで学生に対応していくことが面接担当者には必要と言える。

年次推移に関する検討

2006年と2008年～2014年を分析対象にした検定の結果、自覚症状、UPI得点、自覚症状の4領域のうち3領域で、2006年と他の年度との間に有意な得点差が

認められた(表2, 3)。条件統制のため検定対象から除外した2007年も、参考資料として、各年度の値をプロットした図表に含めて記載する。図1と2も示すように、各年度および分析項目によって違いが認められるが、2007年を除く該当の8年では2006年を最大値として、最小値を記録した2014年にかけて減少していく傾向を見ることができる。特に2006年と2014年の間の得点差は大きい。また一方で、1995年～2014年の自覚症状の得点平均値をプロットした図4でも分かるように、2014年の自覚症状の値($M=3.95$)は、UPI調査期間20年においても最小値であった。年度ごとの違いはあるものの、1995年～2006年の12年では7～8点台がほぼ通例であったのが、2007年をはさんで2008年以降は6点台となり、その3年後の2011年に5点台へ入って間もなく、初めて記録された3点台である。1995年～2004年の年度間、また、それら10年と2006年以降の間に有意差が認められるかどうかの実証は残念ながらない。しかし、2005年までの得点傾向にほぼ一致する2006年($M=8.28$)については、2011年($M=5.33$)、2013年($M=5.21$)、2014年($M=3.95$)との間に有意差が認められる結果であった(表3)。つまり、2007年を例外として、2006年以前に比べて近年は明らかに得点が低く、本学新入生における自覚症状の得点平均値は減少してきていると表現できるだろう。それは、先述したような本学新入生の低得点傾向が、2010年代に入り一層強まってきたことを示している。

なお、いずれの図表でも2007年が他の年度と比べ比較的高い値を見せているのは、年度間の差の検定対象から除外した理由、すなわち、回答方式の違いの影響が推察される。2007年以外は該当項目だけチェックする回答方式を一貫して採用しているが、2007年のみ項目全てに○×を記入する回答方式を採用している。後者の方がUPIに対する受検者の反応を多く引き出すことに成功したと考えるなら、その結果として、自覚症状と陽性項目、その合計であるUPI得点といった全ての統計値が高くなった可能性があるように考える。

なお、43年間にわたるUPI調査の実績に基づき検証を行った岡他(2015)は、14点台だった70年代前半から次第にUPI得点の値が下がり始め、低い値で安定していた期間を経て、90年代半ば頃から再上昇を見せたと述べている。そして、2000年～2014年では今までになく高い値($M=17.4$)を出したという(岡他、2015)。また、1990年～1999年の自覚症状得点を検証した喜田他(2001)、1992年～2007年のUPI得点を検証した願興寺他(2007)も、90年代後半および2000年代における得点平均値の上昇傾向を示している。本学でのUPI調査は

1995年に始まっており、これらの調査報告と時代は同じであるが、結果はいずれとも一致していない。むしろ相反するものだと言える。本学新生生の自覚症状得点およびUPI得点の平均値は、先に述べたとおり、近年にかけ減少してきていることが明らかである（表2, 3, 図1）。残念ながら、医学部を対象にした近年の推移検証は見当たらないため、他の医学生では近年どのような現象にあるかを知ることは出来ない。岡他（2015）や願興寺（2007）、喜田（2001）の報告に相反する本学での自覚症状得点の減少傾向が、他の医学生でも認められる学部ゆえの特徴と言えるのか、本学特有のことなのか、その検討は本論では難しく今後課題を残したと考える。

ここでは、医学生に限らず、一般的に考えられる経年変化の背景を中心に述べたい。つまり、入試体制や教育制度（平山他、2010）、IT、景気や社会情勢の変動が各世代に与える影響があげられる。家庭および個人の生活環境や社会の価値観の多様化、変化、また東日本大震災はじめインパクトの強い事象の影響も考える必要があるだろう。先に述べた岡他（2015）は、2000年～2014年でのUPI得点上昇の背景として、好景気を経験しないまま育ってきた世代が抱える経済的負因や、社会福祉制度への信頼が崩れたことをはじめとする将来への不安感を論じた。また、昔と比べて大人になるのが遅れた学生の多さが指摘されており（内田、2010）、心理的社会的に未発達な心的特性が学生の精神保健に影響を与えていることを推察する。また、願興寺他（2007）は、岡他（2015）と同じくUPI得点上昇した年代について、大学全入学時代および学部や学科の新設・改変のなかで学生の質的变化が生じている可能性を指摘した。こうした時代や社会情勢の影響下に本学新生生も同じくあるはずだが、他大学のように近年の得点上昇は本学では起こらず、逆に減少傾向が認められる結果になった。可能性として推察するのは、20年にわたる本学の低得点傾向について記した先述の通り、医学志望および医学生であることの強みである。職業像を早くに定めている目的意識の高さや、その職業が将来の社会的経済的な生活を保証する医師であることは、先行き不透明で不安定さが増す近代（岡他、2015）でますます彼らの強みになっているのではないか。それが、将来の職業等がまだ定まらず、雇用不安等を抱えた状態で大学進学に臨む同世代との年次推移の違いになったことを推察する。あるいはまた、先述した自分自身の心身の不調をきめ細かく意識するゆとりのなさや、被援助志向の低さ（宮本、2010）等が強化されている可能性も考える。しかし、時代背景とUPI結果を一義的に結び付けるべきではないという指摘もあり（平山

他、2010)、大学生時代が昔も今も傷つきやすく影響を受けやすい不安定な年代であることに変わりはない（内田、2010）。本学における近年の得点平均値の減少については、低得点の理由や背景に複数の可能性があることも含め、精神健康上の問題の軽症化を単純には示していない可能性に注意する必要があるだろう。

最後に

以上に、1995年～2014年の集計データと記録を基に、本学新入生のUPI特徴を検討してきた。しかし、あくまでUPIを通じて得た結果であり、学生の精神健康や特性の全てが理解できたわけではない。依存性のある嗜癖や摂食障害、ストレス反応としての身体症状や問題行動、自閉症スペクトラムの傾向など、大学生の精神健康に関わるがUPIでは扱っていない問題は他にもある。またUPIが扱う心身の不調や活動性は、個人の気質や特性として持続性のあるものも含むが、ストレス反応として一過性のももあり、時間の経過や状況によって軽減ないし増悪するものと考えられる。医学部のカリキュラムは受験期以上に過酷で勉強量も多く、内田（2007、2010）も指摘するように、人の肉体、病苦および生死を対象とする学問だけに精神的な負荷は重い。本格的な医学教育を受ける過程で自分の適性や能力の壁を知って思い悩むこともある。また、少人数かつ同質の集団がほぼ一日中ともに行動する状況は、閉鎖的な人間関係（内田、2007、2010）や文化になりやすく、一度つまずくとやり直しがききにくい。つまり、学生が体力的にも精神的にも追い込まれやすい条件が整ってしまっている現状が、在学6年間で学生のパーソナリティや精神健康にどう働くか。入学当初の目的意識が卒業まで保たれること、心身ともに成長していくことが期待されるものの、留年や中退の危機、身体的不調や精神症状などの発生および増進は現実には起きている。追跡調査を実施できる体制に現在はないため、学年を上げるにつれUPI上ではどのような変化が生じるのか、また、学生個々人の予後はどうかを客観的に知ることは出来ない。しかし、各学年における問題の理解と心理的支援は必要と考えられるのであり、留年生や成績下位者、欠席多数者、上級学年も対象に含めた精神健康の調査やアプローチは課題と言える。

今回本学新入生のUPI特徴として明らかになったのは、全国平均（濱田他、1991。平山他、2011）のなかでは他の医学部（奥田他、1992。三木他、1989。宮本、2010）と並ぶ低得点であること、それら医学部のなかでも最も値が小さいこと、

その低得点傾向が近年強まっていることである。そして本論では、UPIでの低得点が本学新入生の特徴だと一口に言っても、その内容や背景は様々であって一括りに出来ないことを考察してきた。今後のUPI調査では本論を念頭において得点結果を理解するとともに、個別面接では得点結果のみで全てを判断せず、チェックされた項目内容を確認し、本人と対話して得られる所見と併せて学生個人々人を理解する必要があるとあると言えるだろう。その意味では、UPI記入と個別面接をセットで全員受けていた本学の実施法は、回答内容を学生本人と一緒に吟味出来るうえ、UPIが扱わない問題も話しあえる意義があったと考えている。また、自ら一人で相談室を訪れることには躊躇があっても、全員必修で時間も短いという場面設定が気楽にさせるのか、個別面接の場で悩み事や不安を相談してくる学生も少なくなかった。

2016年現在の実施環境および方法は違ったものになっているが、本論では検討を見送った項目内容に関する20年分の記録も参照しつつ、本学新入生にとってより適切なUPI調査と個別面接を目指していきたいと考える。しかしまた、全学年を対象にした調査については、60項目から成るUPIおよび全員対象の個別面接は困難であり、UPI以上に簡便な調査票の採用も含めた慎重な議論が必要だと考えている。

註) 本論は、以前に1995年～2011年のデータを取りまとめて検討したもの(鋤柄、2012)に2012年～2014年のデータを加え、20年間分として新たに検討したものである。前回の検討は、日本学生相談学会第30回大会(2012年5月開催)および学生相談室報告書第17号(2012)で報告した。また、2012年～2014年の集計結果は、同じく学生相談室報告書第20号(2015)で統計分析にかける以前の報告をしている。

文献

- 内田千代子(2007). 全国調査からみた大学生の自殺：とくに医学生の問題に注目して. 精神療法, 33 (5), 592-594.
- 内田千代子(2010). 21年間の調査からみた大学生の自殺の特徴と危険因子：予防への手がかりを探る. 精神神経学雑誌, 112 (6), 543-560.
- 岡伊織・銚谷路・山岸俊子(2010). University Personality Inventory (UPI) 高得点者が抱える潜在的ニーズ：呼び出し面接事例を通しての検討. 学生相談研究, 31 (2), 146-156.
- 岡伊織・吉村麻奈美・山岸俊子(2015). 津田塾大学新入生における精神的健康度の変化：43年間に渡る大学生精神医学的チェックリスト (UPI) の結果より. 津田塾大学紀要,

(47), 175-195.

奥田純一郎・黒田英・白石純三 (1992). 大阪大学における最近9年間のUPI調査結果. 精神保健, (1), 338-342.

願興寺礼子・小塩真司・桐山雅子 (2007). 中部大学新入生の心理的健康の年次的変化: UPIの得点、健康や精神衛生上の問題・治療歴の有無、悩みの有無・内容について. 中部大学教育研究, 7, 63-68.

岸本光代・岡村仁 (2008). 入学時における医療系学生のSense of Coherence (SOC) に関連する要因の検討. 保健医療社会学論集, 19 (2), 82-93.

喜田裕子・高木茂子 (2001). 学生相談から見た大学生のメンタルヘルスと心の教育: 富山国際大学における過去10年間のUPI調査をもとに. 人文社会学部紀要, 1, 155-166.

木下清・島田修・保野孝弘・網島啓司 (1997). 大学生の精神健康調査. 川崎医療福祉学会誌, 7 (1), 91-101.

鋤柄のぞみ (2012). 単科医科大学における新入生のUPI特徴: 17年間分の集計報告と年次推移. 全国大学学生相談学会第30回大会発表論文集, 76.

濱田康子・鹿取淳子・荒木乳根子・池田由子・加藤恵・福田智子・佐藤いずみ (1991). 大学生精神衛生チェックリスト (UPI) からみた女子学生の特徴. 研究紀要, 第三分冊, 短期大学部 (II) 24, 125-133.

平山皓・全国大学メンタルヘルス研究会著 (2011). 大学生のメンタルヘルス管理 UPI 利用の手引き. 創造出版.

三木勅男・本多みよ子 (1989). University Personality Inventory (UPI) と Manifest Anxiety Scale (MAS) による医学生の精神健康調査: 多浪入学生と留年性を中心に. 福井大学教育学部紀要, IV (39), 21-31.

宮本淳 (2010). UPI から見た医学生の精神的健康. 愛知医科大学基礎科学紀要, 37, 1-7.

(受付日 平成28年9月30日)

(受理日 平成28年11月30日)

〈研究ノート〉

対 数 関 数

儀 我 真理子*

Logarithmic Function

Mariko GIGA

1 イントロダクション

n を整数として x^n の不定積分を考えるとき、 $n = -1$ 以外では次数が $n + 1$ になる。ところが $n = -1$ の場合だけは対数関数になる。微分、積分を考えるとき、多項式の世界に例外的に対数関数が出てくるのは不思議といえば不思議である。計算すると確かにそうなるし、 x^{-1} の積分は $n + 1 = 0$ 次でないことは明らかなので、他と同様にならないのは当然であるが、そのあたりの状況および対数関数について考えるのが本稿の目的である。

対数関数は、指数関数の逆関数として定義された。指数関数 $y = a^x$ を微分してみると、ある定数 k が存在して

$$\frac{dy}{dx} = ka^x \quad (1.1)$$

となることがわかる。この k を1とする数 a を求め、 e と名付けた。これを使うと指数関数の微分が

$$\frac{d}{dx}e^x = e^x \quad (1.2)$$

となり話が簡単になる。指数関数のことは e^x だけで考えれば基本的な話は済む。

微分しても形が変わらない関数が他にないかを見るために、微分方程式 $\frac{dy}{dx} = y$ を解いてみると、 c を定数として、 $y = ce^x$ の形に限ることがわかる。その逆関数

* 日本医科大学・数学教室 Department of Mathematics, Nippon Medical School

(20)

$x = ce^y$ を x で微分すると $\frac{dy}{dx} = \frac{1}{x}$ となる。つまり「微分しても形が変わらない関数の逆関数の微分」は $\frac{1}{x}$ に限るわけである。このようにして、関数 $\frac{1}{x}$ は指数関数の文脈に自然に現れることがわかる。

次に多項式の微分積分の観点から考察する。

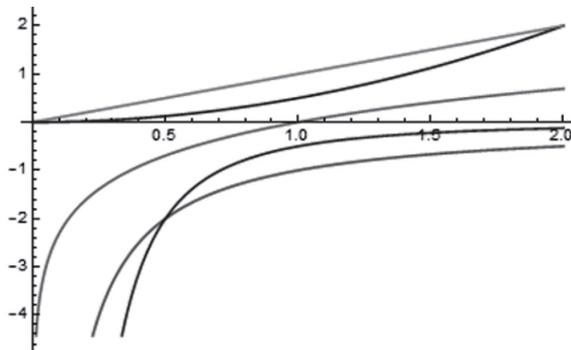
$$\dots, x^2, x, 1, x^{-1}, x^{-2}, x^{-3}, \dots$$

の積分

$$\dots, \frac{1}{3}x^3, \frac{1}{2}x^2, x, \log x, -x^{-1}, -\frac{1}{2}x^{-2}, \dots$$

の $x > 0$ 上のグラフをいくつか描いてみると下の図のようになり、 $\log x$ はそれなりに自然な位置を占めている。次数として整数 n を考えると $n = -1$ のときに対数関数が現れるが、次数が非整数である $n + \alpha$ ($0 < \alpha < 1$) 次の関数 $x^{n+\alpha}$ の微分や不定積分の次数は何事もなかったかのように1つずつ増えたり減ったりする。

多項式の積分



グラフは、 $x = 1.0$ の点における値の大きいものから、

$$f(x) = x, \frac{1}{2}x^2, \log x, -\frac{1}{2}x^{-2}, -x^{-1}.$$

2 複素関数として考えると

ここでは、対数関数を複素関数として考えたときどうなるか、および $\frac{1}{z}$ との関係を考えてみる。複素関数論は18世紀から19世紀にかけて、オイラー、ガウス、

リーマン、コーシーらによってその基礎が作られた理論であるが、数学的にはもちろん、物理や工学などの応用においても広く使われている理論である。

代数学の基本定理「 n を自然数とすると、複素数を係数とする n 次方程式

$$a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_1 z + a_0 = 0$$

は複素数の範囲で解を持つ」から、「 n 次方程式は、重複度を考えたときちょうど n 個の解を持つ」が言える。この美しい定理は数を複素数まで拡張して初めて成り立つことである。また n 乗根の概念も複素数の世界では明瞭な形で表現できる。このように複素数の世界はととてもすっきりしており、複素数の世界まで広げて考察することにより関数の本質が見えてくることも多い。このセクションでは、複素関数論の中でイントロダクションに述べたテーマに関連した事柄の概略を抜き出しそれをより細かく見ることにより、本稿のテーマに少しでも迫りたい。このセクションを書くにあたっては、参考文献 [1, 2, 3, 4] を参考にした。

複素関数への拡張

複素変数の指数関数を次の式で定義する。

$$z = x + yi \text{ のとき、 } e^z = e^x (\cos y + i \sin y)$$

オイラーの公式により

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$

であるから、複素数 z は、

$$z = r e^{i\theta}$$

と簡潔に表現できる。

複素変数の対数関数は、 $z = 0$ を除いたところで次の式で定義される。

$$w = \log z \text{ は } z = e^w \text{ を満たすものとする。}$$

複素変数のべき関数は、 $z = 0$ を除いたところで次の式で定義される。

$$z^\alpha = e^{\alpha \log z} \quad (\alpha : \text{複素数})$$

正則関数

複素関数が正則であるとは、複素関数の意味で微分可能なことであり、実数における微分を複素数に置き換えるだけの形で定義されている。しかしこの自然な形で定義された“正則”の概念は実はかなり強い条件である。正則関数の実部と虚部は、コーシー・リーマンの関係式を満たすことから調和関数でなければならず、その一方が決まると他方は定数だけの自由度をもって決まってしまう。上に述べた関数はすべて正則関数である。

一致の定理

実関数を複素平面上の関数、複素関数に拡張する仕方は他にもある。しかし次に述べる一致の定理により、複素関数の理論はその拡張の仕方によらないことが保証される。

一致の定理： $f(z)$, $g(z)$ は領域 D で正則であるとする。ある点の近傍またはある線分上で2つの関数の値が等しければ、 D 全体で等しい（この仮定は弱めることができ、 D 内に集積点を持つ点集合で2つの関数の値が等しければよい）。

多価性とリーマン面

ひとつの数 z についても、一般には $z = re^{i(\theta+2n\pi)}$ (n は整数) と表せるから、対数関数は

$$\log z = \log r + i(\theta + 2n\pi)$$

となる。 $re^{i\theta}$ と $re^{i(\theta+2\pi)}$ は、表記は異なるが複素平面上で同じ数である。しかし $\log r + i\theta$ と $\log r + i(\theta + 2\pi)$ は異なる数である。それゆえ、 $\log z$ はひとつの z について無限個の値をとる、つまり多価関数である。対数関数で、値域を $-\pi < \text{Im}(\log z) \leq \pi$ に制限したものの値を主値といい、 $\text{Log } z$ で表す。

多価関数を1価関数にするのに、主値をとるのも1つの方法であるが、値域の方で別の値をとるものは定義域でも別のものとして考えてしまおうという方法もある。リーマン面の考え方である。そのつながり方をよく見ると、リーマン面はただ多価性を何枚もの面で表現しただけでなく、螺旋階段のように値が一続きにつながっていることがわかる。

次にべき関数について考える。

$$z^\alpha = e^{\alpha \log z} = e^{\alpha(\log r + i(\theta + 2n\pi))}$$

であるから、対数関数の多価性からべき関数も一般には多価関数となる。べき関数の多価性は $\alpha \times 2n\pi i$ の部分に起因する。 α が整数の場合は、ある整数 s が存在して $\alpha \times 2n\pi i = 2s\pi i$ となり、 $e^{2s\pi i} = 1$ であるから、1 価関数となり、 α が整数以外の有理数 $\frac{l}{k}$ (既約分数、 $k > 0$) の場合は、 k 価関数となり、 α が無理数の場合は無限多価となる。これらについても、接続部分では値が一続きにつながっているという意味で、リーマン面の考え方ができることがわかる。

Log z の微分

次に対数関数 $\text{Log } z = \log r + i\theta$ の微分を考えてみる。極座標 $x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$ を使うと、

$$\frac{\partial}{\partial x} = \cos \theta \frac{\partial}{\partial r} - \frac{\sin \theta}{r} \frac{\partial}{\partial \theta}, \quad \frac{\partial}{\partial y} = \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\cos \theta}{r} \frac{\partial}{\partial \theta}$$

となる。一般に $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ に対して

$$\frac{df}{dz} = \frac{\partial u}{\partial x} + i \frac{\partial v}{\partial x} \left(= -i \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

であるから、 $\text{Log } z = \log r + i\theta$ については、

$$\begin{aligned} \frac{d \text{Log } z}{dz} &= \frac{\partial u}{\partial x} + i \frac{\partial v}{\partial x} = \cos \theta \frac{\partial \log r}{\partial r} - i \frac{\sin \theta}{r} \\ &= \frac{1}{r} (\cos \theta - i \sin \theta) = \frac{1}{r(\cos \theta + i \sin \theta)} = \frac{1}{z} \end{aligned}$$

を得る。

$\frac{1}{z}$ と対数関数

$\frac{1}{z}$ の原始関数が $\text{Log } z$ であることはわかった。次に $\frac{1}{z}$ と $\log z$ の関係を積分の観点から考察する。そのためには積分の経路を指定しなくてはならない。下記(23)は、解析接続の理論を用いれば簡単な計算で導くこともできるが、積分計算の内部を見るために直接計算する。

$z = 1$ から $z = re^{i\theta}$ への原点を通らない曲線 C とする。点 1 から点 r へ向かう実軸上の線分を Γ_1 、点 r から点 $re^{i\theta}$ へ向かう円弧を Γ_2 とする。ただし、閉曲線 $-C + \Gamma_1 + \Gamma_2$ が 0 を内部に含むようにとる。このとき、

(24)

$$\begin{aligned}\int_{\Gamma_1+\Gamma_2} \frac{1}{z} dz &= \int_{\Gamma_1} \frac{1}{z} dz + \int_{\Gamma_2} \frac{1}{z} dz \\ &= \int_1^r \frac{1}{x} dx + \int_0^\theta \frac{1}{re^{it}} \frac{d(re^{it})}{dt} dt \\ &= \log r + i\theta\end{aligned}\tag{21}$$

となり、また0のまわりの回転数を $-n$ (n は整数) とすると、後述 (2.8) からわかるように、

$$-\int_C \frac{1}{z} dz + \int_{\Gamma_1} \frac{1}{z} dz + \int_{\Gamma_2} \frac{1}{z} dz = -2n\pi i$$

であるから、

$$\int_C \frac{1}{z} dz = \log r + i(\theta + 2n\pi)\tag{22}$$

となる。右辺は $\log re^{i\theta}$ の一つの値であるから、

$$\int_1^z \frac{1}{w} dw = \log z\tag{23}$$

を得る。この両辺はいずれも無限多価関数であり、全体として一致する。

例 1 C を点 a を中心し半径 r の円、すなわち $C = \{z \mid |z - a| = r\}$ とするとき、整数 m に対して次が成り立つ。例としたが、重要な結果である。

$$\int_C (z - a)^m dz = \begin{cases} 2\pi i & (m = -1 \text{ のとき}) \\ 0 & (m \text{ が } -1 \text{ 以外の整数のとき}). \end{cases}\tag{24}$$

(証明)

$m > 0$ の場合は、 z^m は正則関数であるから明らかである。 $m < 0$ の場合、 $z = a + re^{i\theta}$ とおくと、

$$\begin{aligned}\int_C (z - a)^m dz &= \int_0^{2\pi} r^m e^{im\theta} r i e^{i\theta} d\theta \\ &= i r^{m+1} \int_0^{2\pi} e^{(m+1)i\theta} d\theta\end{aligned}\tag{25}$$

となり、 $m = -1$ のときはこの右辺は $2\pi i$ である。 $m \neq -1$ のときは、

$$\int_0^{2\pi} e^{(m+1)i\theta} d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{1}{i(m+1)} \frac{d}{d\theta} (e^{(m+1)i\theta}) d\theta = 0\tag{26}$$

となる。

(証明終り)

(2.5) 式の右辺を計算したものには r は出てこない。これは Cauchy の積分定理より当然のことである。つまり積分路 C は、 a を内部にもつ閉曲線であればよく円である必要はない。例 1 の証明において、 $m < 0$ のときは、被積分関数はこの積分路において正則関数ではない。それゆえ原始関数を使って積分を計算することはできず、(2.5)、(2.6) のようにすることになる。(2.6) をよく見ることにより次のことがわかる。

$\{z \mid |z - a| = r\}$ を n 回 (n は整数) まわる積分路を nC とする。 m が、整数ではなく有理数 $\frac{l}{k}$ (既約分数、 $k > 0$) のときは、

$$\int_{kC} (z - a)^m dz = 0. \quad (2.7)$$

すなわち、 k 回まわったときに初めて 0 になる。 $m = -1$ のときは、

$$\int_{kC} (z - a)^m dz = 2k\pi i. \quad (2.8)$$

また m が無理数のときは、いかなる整数 k についての kC 上で積分してもこの積分の値が 0 になることはない。

ローラン展開と留数

$f(z)$ が 1 点 a で正則でないとき、 a は特異点であるという。 a が特異点のとき、 $f(z)$ は a を中心として次のようにローラン展開される。

$$f(z) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{b_{-m}}{(z-a)^m} + \sum_{m=0}^{\infty} b_m (z-a)^m.$$

$\frac{1}{z-a}$ の係数 b_{-1} を $f(z)$ の a における留数といい、記号 $\text{Res}(f, a)$ で表す。

曲線 C を a を内部に持つ閉曲線、 $f(z)$ は $0 < |z - a| < R$ で正則であるとする。 $f(z)$ を C に沿って項別積分すれば、先ほど述べた例 1 により、 $\frac{b_{-1}}{z-a}$ 以外の項の積分は 0 になる。

すなわち

$$\int_C f(z) dz = \int_C \sum_{m=-\infty}^{\infty} b_m (z-a)^m dz = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \int_C b_m (z-a)^m dz = 2\pi i b_{-1} = 2\pi i \text{Res}(f, a).$$

ここから次の結果を得る。

留数定理： $f(z)$ の a を中心とするローラン展開を $f(z) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} b_m (z-a)^m$ とするとき、

$$\int_C f(z)dz = 2\pi i b_{-1} = 2\pi i \operatorname{Res}(f, a).$$

3 考察と感想

微分積分における $\frac{1}{x}$ と対数関数の関係を調べるために複素関数に拡張して考えてみたが、(2.2) に見られるように、 $\frac{1}{z}$ の積分の実部はそのまま対数関数で現れた。興味深い状況はむしろ虚部に見ることができる。例1を見ると確かに -1 次のときのみ異なることが起こっている。これは複素平面における対数関数の多価性に関連している。多価性が現れるのは対数関数だけではない。対数関数由来であるが、べき関数にも同様に現れる。多価性とリーマン面のところで述べた z^α の多価性は、 α が無理数の場合は対数関数の多価性と一致する。しかし対数関数の多価性は、ひとまわりするごとに $2\pi i$ ずつダイナミックに刻むことにより生じており、他の関数の多価性に比べて顕著な特徴を見せている。ある見方をすれば、それはかえって自然な多価性である。

本稿を書き始めたときの感覚は、 x^n の微分積分は、 $n = -1$ のときだけは他の場合と統一的に論じられず厄介者というものであった。しかし留数定理を改めて考えてみると、 $n = -1$ の場合だけで $f(z)$ の閉曲線における積分のすべてを担っていることに気が付く。また本稿では特に述べていなかったが、コーシーの積分公式も結局 -1 次のところの積分から関数の値がわかることで成り立っている。このように、まわりと異なる顔を見せているところに実はすべてのことが集約されているような事態は数学でしばしば起こる。

また、実部においては実関数と同じものが現れただけなのであるが、とにかく他の次数とは異なることが起こっている。正則関数のところで述べたように、正則関数の実部と虚部は連動していて独立に関数を決めることはできないのであるから、これは複素関数のこの次数、すなわち -1 次における特殊性の一つの側面ととらえることができる。

これは例えば、「実関数の展開 $\frac{1}{1+x^2} = 1 - x^2 + x^4 - x^6 + \dots$ の左辺はすべての実数で意味を持つのに、複素関数の展開 $\frac{1}{1+z^2} = 1 - z^2 + z^4 - z^6 + \dots$ と同様 $|x| < 1$ でしか収束しない」ということ、また「特異点を持つ関数を実変数に置き換えてグラフを描いたときにも、その特異性の一端が見えることが多い—例えば、 $z=0$ は $f(z) = \frac{\sin z}{z}$ の真性特異点であるが、これを実関数として描くと $x=0$ のと

ころで無限回振動している」ということなどと同じような状況だと思われる。

x^{-1} の積分の特徴として、次のような側面にも気が付く。オイラーの公式

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

により、生まれも育ちも異なる指数関数と三角関数の間に関係がついた。

$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6}$ でも、多項式の級数において三角関数と関連がありそうな π が登場している。本稿の動機付けである式

$$\int \frac{1}{x} dx = \log x + \text{constant}$$

も非常に初等的な事柄でありながら、多項式と対数関数という異質なものの間に関係を付けている。

参考文献

- [1] W. Dunham: オイラー入門 (黒川信重, 若山正人, 百々谷哲也訳), シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社, 2004.
- [2] 儀我真理子: 神奈川大学講義録「複素関数論」, 2016.
- [3] 神保道夫: 複素関数入門, 岩波書店, 1995.
- [4] 田村二郎: 解析函数, 裳華房, 1971.

あとがき

昔から不思議に思ってきたものに次のものもある。フェルマーの原理「光は最短の時間で到達する経路を選ぶ」である。結果は美しいが、光はどのようにその道筋が一番速いと知るのだろうか。

何年も前であるが、ある日新丸子の図書室で物理関係の本をばらばら見ていたとき、一つの図が目に入った。その図を見た瞬間フェルマーの原理に関する私の疑問はほぼ水解決したのである。そして同時にその考え方は他のことにも応用できることにも気が付いた。私としては、印象に残る新丸子の思い出である。

(受付日 平成 28 年 9 月 30 日)

(受理日 平成 28 年 11 月 30 日)

〈研究ノート〉

統計力学に基づく細胞ダイナミクスの 計算手法について

藤 崎 弘 士¹

On some numerical methods to calculate cellular
dynamics based on statistical physics

Hiroshi FUJISAKI

1. はじめに

細胞は生命現象を考える上でもっとも基本的なものであり、生物学の教科書は1個の細胞の性質を調べることから始まる[1]。ただし、現在は生命現象も原子・分子を元にして考えることのできる時代であり、ワトソン・クリックのDNAの3次元構造の発見から分子生物学が生まれたことから分かるように、分子レベルで生命現象を解明することで、深く実用的な知識が得られる²。このような分子的なアプローチによってタンパク質やDNAのような「巨大」生体分子の性質はもっとも正確に理解できる。細胞と言ってもこのような生体分子の集まりなので、分子レベルのアプローチを外延して細胞を理解するという立場はもちろんありうる。しかし、1個の細胞に含まれる原子の数は膨大であり³、そのすべての原子の動きを調べることは現在や近い未来でもできないし、また大部分の生命現象を考える上でも本質的なことでないかもしれない。

ここで物理学において重要なアナロジーが存在する。例えば、気体の性質を調

¹ 日本医科大学・物理学教室 Department of Physics, Nippon Medical School

² 例えば、タンパク質と薬の相互作用を考えるときは分子的な相互作用が本質的であり、創薬を考える上でも欠かせない。

³ 人間の体重をだいたい60 kgとし、大部分が水できているとすると、水には10000モルの原子が含まれている。これを細胞の数60兆個 $=6 \times 10^{13}$ で割ると、1細胞当たりの原子数は 10^{14} 個と見つめられる。

べたい場合、分子レベルで考えると、それはアボガドロ数 ($\sim 10^{23}$ 個) ほどの原子・分子の集まりである。原理的に考えると、そのすべての原子の位置と速度の情報を知ることで気体の性質が分かる⁴。しかし、それを実行するのは現在の実験技術や計算機の能力を用いても難しい。ただし、気体の一部の性質 (例えば圧力や体積、全体のエネルギー⁵ など) にしか興味がない場合は、統計力学 (statistical mechanics) と呼ばれる確率に基づく物理の手法を用いることで、その性質を理解することが可能となる [2, 3]。よって、細胞が原子の集まりだとしても、それを統計力学的に扱えないのか、という疑問が当然湧く。ただし、細胞は気体と同じで原子分子から構成されると言っても、気体は均一なのに対して細胞は非常に複雑なシステムであるので、そう簡単にはいかない。よって、細胞の統計力学的なモデルと言ったときは、原子レベルからすべてを統一的に理解するというよりは、統計力学のアイデアに基づく粗っぽいモデルということにならざるをえない。これまで様々なモデルが考えられているが、それらをサーベイするのはあまりに膨大な作業になるので、ここでは行わない (興味のある読者は [4, 5, 6] などを見よ)。その代わりに、本稿では Cellular Potts Model (CPM) [7, 8] と呼ばれる細胞のダイナミクスのモデルについて中心的に解説する。

まず次章で統計力学とは何であるかを簡単に述べ、それから CPM の基礎となる、イジング・モデルについて説明する。その後、細胞のダイナミクスを簡潔に記述する CPM の説明に入る。それがどのように血管新生、創傷治癒、メカノバイオロジーなどの生体现象に使うのか、どのような発展性や限界があるかということについて述べる。最後にまとめる。

2. 統計力学とは何か

統計力学とは、ミクロ (たとえば原子) とマクロ (たとえば気体) をつなぐために必要となる物理学の考え方のことであり、時間が経ってもマクロな性質が変

⁴ 古典力学の中心となる方程式であるニュートン方程式は空間に関して2階の微分方程式であり、ある時点での位置と速度が分かれば、それ以降の位置と速度も原理的には分かる。よって、気体の情報もすべて得られることになる。

⁵ 力学的には運動エネルギーと位置エネルギーが定義されるが、個々の原子分子のエネルギーは揺らいでいる。ここで述べているので、その統計平均のことであり、内部エネルギーと呼ばれる。

わらない平衡状態の統計力学に関しては、19世紀にボルツマン⁶が本質的に完成させている。統計力学においては確率が本質的な役割を果たしており、それまでの物理学が決定論的な概念を中心的に用いてきているのと対照的である⁷。そのために、統計力学の基礎を理解するのは現在の物理学者にとっても難しく、様々な流儀がある。ただし、その中心となるのは、ボルツマン分布である⁸。

統計力学は熱力学との対応でもっとも自然に理解されるので、ここでも温度 T の熱浴に浸かっている系を考える（図1）。系の力学的なエネルギー⁹を E としたときに、そのエネルギーの状態が実現される確率は

$$P(E) \propto e^{-E/k_B T} \quad (2)$$

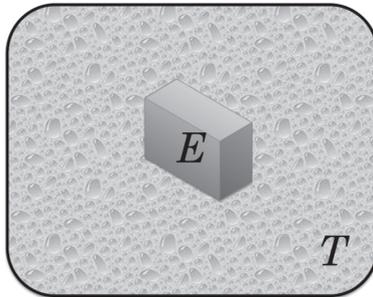


図1：統計力学を考える上での設定。エネルギー E をもつシステムが温度 T の熱浴に浸かっており、長時間後に平衡状態になる。そのときシステムのエネルギーは揺らいでおり、その分布はボルツマン分布となる。

で与えられる。これが有名なボルツマン分布である。（ k_B はボルツマン定数と呼ばれる。）ここで、右辺の分布はまだ規格化されていないので、厳密には確率で

⁶ Ludwig Eduard Boltzmann (1844～1906) はオーストリアの物理学者。マクスウェルなどの考えを引き継いで、平衡系の統計力学を完成させた。特にエントロピーの微視的な考え方を整備し、
$$S = k_B \log W \quad (1)$$
 という関係式を提唱した。ここに出てくる k_B はボルツマン定数であり、 W は状態の場合の数である。

⁷ 先に述べたように、ニュートン力学では初期の位置と速度さえ決まれば、その後の状態はすべて一意に決まるという形式になっており（常微分方程式を初期値問題として解く）、これから決定論的な自然観が生まれた。ただし、20世紀に生まれた量子力学は根本的なところで確率の概念を使っており、確率の概念は自然を深く理解する際にはむしろ根源的なものであることがわかっている。

⁸ カノニカル分布 (canonical distribution) と呼ばれることもある。

⁹ 力学的にはエネルギー E は運動エネルギー $\frac{1}{2}mv^2$ と位置エネルギー $V(x)$ の和で与えられる。

(32)

はないが、ほぼ確率と思ってよい。

量子力学系や離散的な状態をとる系（後で考えるイジング系など）を考えると、エネルギーも離散的な値をとるので、それを E_n ($n=1, 2, \dots$) とすると、ボルツマン分布は

$$P(E_n) = \frac{e^{-E_n/k_B T}}{Z} \quad (3)$$

となる。 Z はこの分布が確率になるための因子であり、 $\sum_n P(E_n) = 1$ となることから決まる。つまり、

$$Z = \sum_n e^{-E_n/k_B T} \quad (4)$$

となる。これを統計力学では分配関数と呼ぶ。つまり規格化されていないボルツマン分布について、すべての状態に関して和をとったものである。

統計力学ではこの確率を用いて様々な量（平均や分散）が計算でき、それは熱力学と整合的であることや、実験との対応も非常によいことが分かっている [2, 3]。よって、このボルツマン分布の有用性に関しては全く疑いがない¹⁰。

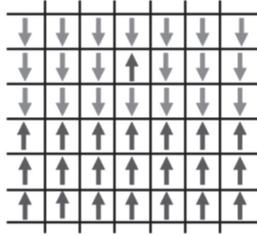
3. イジング・モデル (Ising model)

3.1. イジング・モデルのエネルギー

イジング・モデル (Ising model) とは 20 世紀初頭に考えられた磁石のモデルであり、統計力学の典型的なモデルの一つである。それは図 2 のようなものであり、マクロな磁石をミクロな磁石（スピン）の集まりとみなす。簡単のために、スピンは上と下しか向かないと考え¹¹、それを数値的には ± 1 で表す。 i 番目の位置（サイト）にあるスピンの変数を S_i と表すと、 $S_i = \pm 1$ の値しかとらない。ここで、スピン間の相互作用を考える。スピンの向きがエネルギーと関係しており、 i 番目と j 番目の間のスピンの相互作用に関しては、スピンの積 $S_i S_j$ と関連すると考えるのが自然なので、簡単には $J_{ij} S_i S_j$ となる。ここで J_{ij} は相互作用の強さ

¹⁰ ただし、これらはすべて温度 T の熱浴に浸かっている平衡系での話であり、非平衡の状態ではどのような分布が得られるかは定かでない。それは現在でもホットな研究課題である [9]。

¹¹ 連続的にミクロな磁石の向きが変化するモデルは、ハイゼンベルグ・モデルと呼ばれる。スピンの向きが 2 次元平面に固定されたものは XY モデルと呼ばれ、2016 年のノーベル物理学賞は XY モデルのトポロジカルな相転移（コストリッツ・サウレス転移）に与えられた。



© Hammel, Ben. "Monte Carlo Simulation of the Ising Model using Python".
TheBrokendes.com 06 January 2014. Visited 24 September 2016.

図2：イジング・モデルの一つの配置。

である。お互いのスピンの向きが揃っていたほうがエネルギーが低いとすると、 J_{ij} は負の値をもつことになる。これを**強磁性 (ferromagnetism)**のモデルという。分かりやすくするために、 J_{ij} を正の数にして、 $-J_{ij}S_iS_j$ と書こう。すると、全体のエネルギーは

$$E(\{S_i\}) = - \sum_{i,j} J_{ij} S_i S_j \quad (5)$$

となる。これがイジング・モデルのエネルギーである。

これは一般的な相互作用の形だが、実際はあるスピンと遠距離のスピンとの間の相互作用は弱いので、サイト i にとってサイト j が最近接 (nearest neighbor) のときだけ相互作用があるとする簡略化したモデルが使われることが多い。その相互作用の大きさを単に J とすると、上のエネルギーは以下ようになる。

$$E(\{S_i\}) = -J \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j \quad (6)$$

ここで $\langle i,j \rangle$ は最近接のサイトでのみ和をとるということを意味する。

3.2. モンテカルロ法 (Monte Carlo method)

上で磁石のモデルとしてのイジング・モデルを紹介したが、この磁石が温度 T の熱浴に接しているとすると、あるエネルギーの状態が出現する確率は、先に述べたボルツマン分布 (2) で与えられる。分布が分かると、それから様々な物理量が計算できるが、例えば、スピンの平均の向きである**磁化 (magnetization)** M ¹² の場合

¹² これはスピンの集団が磁石になっているかどうかを表している量である。 $M = \pm 1$ がもっとも強い磁石になっている状態に対応し、 $M = 0$ は磁石としての性質がもっとも弱い状態である。

(34)

$$M = \sum_{\{S_i\}} \bar{S} P[E(\{S_i\})] \quad (7)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i \quad (8)$$

という量を計算することになる。これはスピンの全サイトでの平均 \bar{S} を分布 $P(E)$ で平均したものになっている。しかし、式 (7) をそのまま計算しようとすると大変なことになる。

この式はすべてのスピンの配置 $\{S_i\} = (S_1, S_2, \dots, S_N)$ に関して和をとるということになっているが、 $S_i = \pm 1$ であるので、 2^N 個の状態について和をとるということを意味する。例えば2次元のモデルで 30×30 のサイトがある（決して多い数ではない）としても、 $2^N = 2^{900} \sim 10^{270}$ となり、現在の高速の計算機を使っても、この和を「くまなく」とすることは不可能である。ではどうするのか？

このような場合に用いられる手法がモンテカルロ法 (Monte Carlo method) である [2]。これは今の場合のような大自由度に関する和（もしくは積分）を近似的に計算する手法であり、1950年代から現在に至るまで非常に広く使われている。モンテカルロ法を使う際に重要なことは、マルコフ連鎖 (Markov chain) の性質と、エネルギーなどの計算が局所的にできるということである。

後者から説明すると、例えば上の簡略化したイジング・モデルの場合は、あるサイト i に関係するエネルギーを計算する場合は、例えば2次元の場合であれば (図3)、最近接の数は4つになるが、その4つの寄与「だけ」を計算すればよい。つまり、計算しなければいけないのは

$$\begin{aligned} E_{\text{local}} &= -JS_i S_{i_1} - JS_i S_{i_2} - JS_i S_{i_3} - JS_i S_{i_4} \\ &= -JS_i (S_{i_1} + S_{i_2} + S_{i_3} + S_{i_4}) \end{aligned} \quad (9)$$

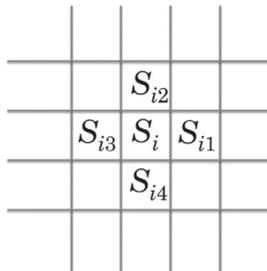


図3：1つのスピンをモンテカルロ法で動かすときに考えなければいけない隣接のスピンの配置。

となる。ここで i_1, i_2, i_3, i_4 は i に最近接の 4 つのサイトである。後でわかるように、このエネルギーだけ計算できればモンテカルロ法は実行できるので、全エネルギーをいちいち計算する必要がないということがまず利点となる。

次にマルコフ連鎖についてだが、モンテカルロ法では「ある確率」を使って配置を遷移させていく。いまの場合はスピンの配置 $\{S_i\} = (S_1, S_2, \dots, S_N)$ を変えていくことになるが、例えば「ある確率」でスピンを選び、そして、それを反転（フリップ）¹³ させるかどうかを「ある確率」を使って決める。もちろん「ある確率」の決め方が重要だが、そのようにして多くの配置を生成したときに、それらがボルツマン分布に従っているようにするのである。すると、例えば磁化の計算もすべての配置で計算するのではなく、モンテカルロ法で生成される配置で平均として計算すればよい。つまり、以下のようになる。

$$M = \sum_{\{S_i\}} \bar{S} P[E(\{S_i\})] \simeq \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \bar{S}(t) \quad (10)$$

ここで配置が $(S_1(1), S_2(1), \dots, S_N(1)) \rightarrow (S_1(2), S_2(2), \dots, S_N(2)) \rightarrow \dots$ と変化することを考えており、変化の総ステップ数を T としている。上の式の第 2 式は 2^N 個の和であるが、第 3 式は T 個の和であり、 $T \ll 2^N$ となりうる。つまり、和をとる数を極端に減らすことができる。また、そもそも最右辺では $P[E(\{S_i\})]$ そのものも消えているのもポイントである。というのも $P[E(\{S_i\})]$ には分配関数 Z が含まれているので、これも避けたい計算だからである。

さて、その「ある確率」の決め方であるが、もっとも古典的なモンテカルロ法（専門的にはメトロポリス（Metropolis）法という）では以下のように決める。ある配置 α から β に変化させる確率は、それぞれの配置のエネルギー E_α, E_β を計算して、 $E_\alpha > E_\beta$ であれば確率 1 で遷移させる、 $E_\alpha < E_\beta$ であれば確率

$$P_{\alpha \rightarrow \beta} = e^{(E_\alpha - E_\beta)/k_B T} \quad (11)$$

で遷移させる。これだけのことで最終的にボルツマン分布が得られることが分かっている [2]。上の式では、2 つの配置のエネルギー差 $E_\alpha - E_\beta$ だけ計算できればよいので、非常に簡単である。

例えば簡略化された（最近接の相互作用しかない）イジング・モデルの場合、サイト i のスピンを + から - に反転させることを考えると、計算に関係ある部分は

¹³ スピンの変数は ± 1 の間を変わるだけなので、それを反転（フリップ）と表現する。

$$E_\alpha = -J(+1)(S_{i_1} + S_{i_2} + S_{i_3} + S_{i_4}) \quad (12)$$

$$E_\beta = -J(-1)(S_{i_1} + S_{i_2} + S_{i_3} + S_{i_4}) \quad (13)$$

となる。ここでエネルギーが局所的に定義されているので、これらの項だけを計算すればモンテカルロ法は実行できる。(一般的なイジング・モデルの場合はそうはいかない。) よって、計算が高速に実行できるわけである。

簡略化されたイジング・モデルに対して、計算機でこのアルゴリズムを実行する場合は以下のようにすればよい：まず1から全サイト数 N までの一様乱数を発生させて、どのサイトを反転させるか選ぶ。そして選んだサイトのスピンを反転させて、エネルギー差を計算し、 $E_\alpha > E_\beta$ であれば反転させる。そうでなければ $P_{\alpha \rightarrow \beta}$ を計算し、0から1の間の一様乱数 Q を発生させて $Q < P_{\alpha \rightarrow \beta}$ であれば反転させる。それ以外の場合、スピンはそのままにしておく。これを具体的にpythonで実装した例としては [10]などを参照。

4. 細胞の統計力学的なモデル化

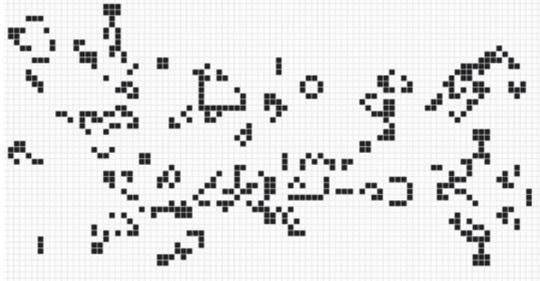
4.1. ライフ・ゲームとセル・オートマトン

数値計算の結果としてイジング・モデルの「時間発展¹⁴」を見ていると(例えば、[10]などを実行せよ!)、低温ではドメイン構造ができ、高温ではランダムな配置になるが、その中間の温度では細胞が分裂しているような複雑なダイナミクスが観測できる。そこで、細胞のダイナミクスをイジング・モデルで「模倣」できないかと考えるのは自然である。イジング・モデルのような離散的なモデルで生命現象を模倣しようとするものとして有名なものにライフ・ゲーム (Life Game)がある [12]。これは局所的なルールで離散的な状態を決定論的に時間発展させるシステムであり、セル・オートマトン (Cellular Automata)の一種になっている [13]。ライフ・ゲームは単細胞を模したようなシンプルなルールだけから、生命現象のような¹⁵複雑なダイナミクスを生み出すことができる (図

¹⁴ モンテカルロ法を使っている場合は、どこにも配置の変化に関わるレートのようなものを用いていないので、本当のダイナミクス(時間発展)ではない。ただし、状態間の遷移行列を定義できれば、それで kinetics は表現されていると考える手法もあり、kinetic Monte Carlo と呼ばれる [11]。

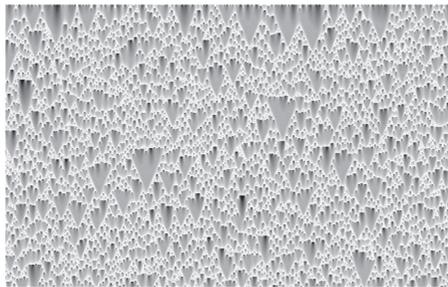
¹⁵ もちろんこのような人工的なものを「生命らしい」というときに、何をもち「生命らしい」とするかは非常に難しい問題である。

4)。しかし、そのルールをどのように決めるかという点において自由度がありすぎて、特定の現象が与えられたときにそれを模倣するのが難しい（図5）。細胞をモデル化するためにイジング・モデルのようなモデルを使う利点は、エネルギーという物理的な量を決めれば、その分布が一意に定まるということと、そのエネルギーには物理的な考えから様々な項を加えることができるので、いろんな要因による変化も系統的に追えるという利点がある。



<https://www.wired.com/2010/07/conways-game-of-life-in-html5/>

図4：ライフ・ゲームのある時刻における1つの配置（2次元）。黒は生きている状態、白は死んでいる状態である。



<http://renga.com/anzi/lab/ca/>

図5：あるルールのもとで生成されるセル・オートマトンの1次元のパターン。横軸が離散化された空間、縦軸は離散化された時間を表す。

4.2. セルラー・ポッツ・モデル

例えば、Glazier と Graner はイジング・モデルを多状態に拡張したポッツ・モデル (Potts model) で細胞のダイナミクスが扱えないかと考えた [14]。このときのエネルギーは一般的には

$$E_{\text{boundary}} = \sum_{\langle i, j \rangle} J[\tau(\sigma(i)), \tau(\sigma(j))][1 - \delta(\sigma(i), \sigma(j))] \quad (14)$$

となる。最近接の相互作用だけ考えるところ ($\langle i, j \rangle$ で表されている) は前の簡略化されたイジング・モデルと似ている。しかし、やや記号が込み入っているので、図6を用いて2次元の場合の記号の意味を説明しよう。

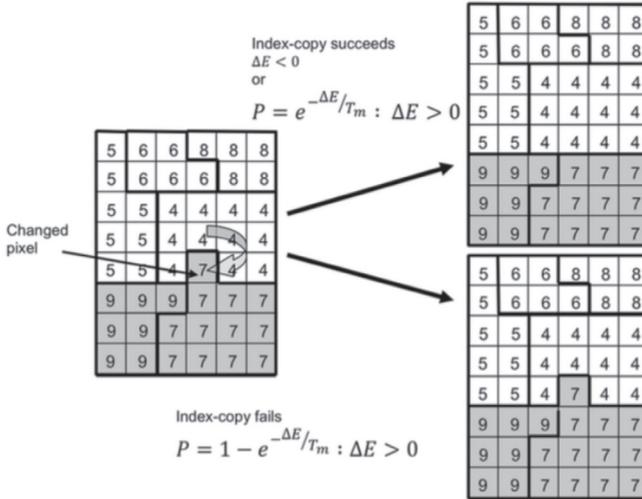


図6：CPMにおけるモンテカルロ・ムーブを説明するための図。[16]より転載。

まず、 i はサイトを表す整数の組みであり、例えば2次元であれば(1,3)のようなものである。これは細胞の「一部分の」位置を離散的に表している。実際の距離にするには、これらに $\Delta x, \Delta y$ のような量をかける必要がある。この文章では各サイトに貼り付いている細胞の一部分を素細胞(細胞単位)と呼ぶことにしよう。これが細胞を表す上での単位となるものであり、ポッツ・モデルではこれ以上の細かい情報は捨棄されていると考える。そして、そのサイトにある素細胞のラベルを $\sigma(i)$ とする。ちょっと紛らわしいのは、素細胞の種類(すぐ後に出てくるように、これは τ で区別される)が同じであっても、異なるラベルを使うことがあるということである。これは後で出る compucell3dの図などでは「しきり」に囲まれている部分として表現されている¹⁶。ここが実際、ポッツ・モデルを使

¹⁶ すぐ後に出てくるが、同じラベルに属する素細胞(エレメント)に対して拘束条件をかけることがあるので、このような区別をしている。

うときの混乱の元なので、この文章では同じラベルに属する素細胞を同じエレメント (element) の素細胞と呼ぶことにしよう。最後にサイトにある素細胞の種類を τ という整数値で表す。後で出てくる例では condensing, noncondensing, medium などの区別があるが、素細胞の種類に応じて増える。例えば図 6 ではエレメント 4,5,6,8 は同じ種類の素細胞、エレメント 7,9 は別の種類の素細胞ということになる。

さて、このエネルギー関数には $[1 - \delta(\sigma(i), \sigma(j))]$ という因子が入っており、これはサイト i, j の素細胞のエレメントが異なる場合のみ 0 とならない。つまり、異なるエレメントをもつ素細胞「間」の相互作用を表すということであり、その相互作用の大きさを $J[\tau(\sigma(i)), \tau(\sigma(j))]$ で表す。 J は素細胞の種類によって異なる。例えば、3 種類の素細胞がある場合は $\tau = 0, 1, 2$ とすることができるので、その結果として、相互作用も複数生じる。つまり、相互作用の大きさには $J_{00}, J_{01}, J_{02}, J_{11}, J_{12}, J_{22}$ という可能性があるということである。0 の状態を素細胞が何もない状態、1,2 はそれぞれ 2 種類の素細胞とすると、上のエネルギーは素細胞間の「くっつきやすさ (stickiness)」を表していると考えることができる。ボルツマン分布を考えるとエネルギーが低い状態のほうが実現されやすい。よって、 $J_{11} < J_{12}$ であれば、1 の素細胞は 2 の素細胞とくっつくよりは 1 同士でくっつく方を好む。つまり、 J が小さいほど、その引数の組の素細胞はくっつきあう。

それでは、培地に素細胞 1,2 を適当にばらまいて、その後のダイナミクスをモデル化しよう。Glazier と Graner はまず単純に、イジング・モデルのときと同様にモンテカルロ法を時間発展のアルゴリズムと考えることにした[14]。イジング・モデルの場合はスピンの反転を考えたが、ここでは素細胞が数種類ある状況を考えているので、素細胞の置き換えを考えよう。つまり、図 6 にあるように、サイト i の素細胞とサイト j の素細胞を入れ替えるモンテカルロ・ムーブを考えるわけである。これは素細胞の「移動」をシンプルにモデル化していると考えることができる。また素細胞 0 と入れ替えると、これは素細胞が「死滅」することになる。その確率もやはりモンテカルロ法を使って決める。つまり、式 (14) を使って素細胞の置き換えを行うときのエネルギー差を計算すればよい。このエネルギーもイジング・モデルと同様に局所的に定義されているので、計算に時間はかからない。ただし、これを単純に行うとどんどん素細胞が死滅していつてなくなってしまふ。しかし、細胞はある程度はロバストに存在するはずであり、簡単になくなってしまっては困る。よって、実際にはエネルギーに以下の付加項をつける。

(40)

$$E_{\text{vol}} = \sum_{\sigma} \lambda_{\text{vol}}(\sigma) [v(\sigma) - V_t(\sigma)]^2. \quad (15)$$

ここで $v(\sigma)$ はエレメント σ に属する素細胞の集団の体積であり、エレメント σ が占めるべき体積（ターゲット体積）を $V_t(\sigma)$ としている。 $\lambda_{\text{vol}}(\sigma)$ はエレメントがターゲット体積になる「速さ」を決める因子であり、これが大きいほど、ターゲット体積になりやすい。これらの因子を使って細胞内の圧力を

$$P = -2\lambda_{\text{vol}}(\sigma) [v(\sigma) - V_t(\sigma)] \quad (16)$$

と定義することができる¹⁷。 $v < V_t$ であれば $P > 0$ なので、これはエレメント σ に属する素細胞の集団が大きくなろうとする、 $v > V_t$ であれば $P < 0$ なので、これはエレメント σ に属する素細胞の集団が小さくなろうとするわけである。最終的には各エレメントに対するエネルギーの和をとって全体のエネルギーとする。

また、式 (15) で体積（2次元の場合は面積）は拘束できるが、体積が同じでも表面が非常に入り組んだものも考えることもできる。つまり、界面がフィラメント状になってしまうわけである。これを避けたいときは、表面積（2次元の場合は境界線）の拘束を考えることもできる。それは以下のエネルギーで表現される。

$$E_{\text{surf}} = \sum_{\sigma} \lambda_{\text{surf}}(\sigma) [s(\sigma) - S_t(\sigma)]^2 \quad (17)$$

ここで $s(\sigma)$ はエレメントが σ である素細胞の集団の表面積であり、エレメント σ が占めるべき表面積（ターゲット表面積）を $S_t(\sigma)$ としている。 $\lambda_{\text{surf}}(\sigma)$ は各エレメントがターゲット表面積になる「速さ」を決める因子であり、これが大きいほど、ターゲット表面積になりやすい。

式 (14) と (15)、また必要に応じて (17) を足したもの： $E_{\text{CPM}} = E_{\text{boundary}} + E_{\text{vol}} + E_{\text{surf}}$ を **Cellular Potts Model (CPM)** の（有効）エネルギーと言う。上で述べたモンテカルロ法によって、素細胞のダイナミクスは決まるが、その際に使うエネルギーは E_{CPM} になる。ただし、これがエネルギーの最終的な形というわけではなく、以下で述べるように様々な拡張が可能である。特に他の化学物質の濃度場との結合をエネルギーとして表現することで、化学的な走化性をモデル化できる。このような柔軟性がCPMのフォーマリズムの利点である。基本的には以上がCPMのすべてであり、CPMエネルギーと初期配置を決めたら、後はモ

¹⁷ やや高度になるが、これは熱力学的な関係式 $P = -\partial F / \partial V$ から出てくると考えることができる [2]。ここで F は（ヘルムホルツの）自由エネルギーである。

ンテカルロ法で動かしてパターンを生成するということになる。非常に簡便な方法であるのが分かるが、もちろん様々な問題点があるので、それを先にまとめておこう。

4.3. セルラー・ポッツ・モデルの問題点

まずは J や λ といったパラメータをどのように決めるのかという問題がある。特に、サイト i は（解像度などにより）適当に選ばれており、隣接するサイトのエネルギーを考えるとということが物理的にあまり明瞭でない¹⁸。また、モンテカルロ法で動かすときに、 T とこれらのパラメータの比が指数の肩に入ってくるので、それらのパラメータの絶対値は重要ではない（ T でスケールされることになる）。

CPM の動きはモンテカルロ法によって決めるとしたわけだが、これも物理的にはあまり根拠はない。強いて言えば、エネルギー E_{CPM} の平衡分布が長時間の計算で実現されるということになるが、少なくとも 2 つの問題がある。一つ目は、モンテカルロ・ムーブはそもそもダイナミクスを模倣したものではないということである。その証拠に時定数のような量はどこにも入ってこない。例えば、実際のダイナミクスで、エネルギーのバリアを乗り越えるようなことがあれば、そのバリアのエネルギーが入ってくるべきである¹⁹。ただし、もし詳細釣り合いが成り立っているとすると、ある状態 A から別の状態 B への遷移のレートの比は、メトロポリスの式 (11) と同じになる [15]。よって、少なくともレートの比だけ考えたら間違っているわけではないとも言える（だからといって完全な正当化になるわけではない）。また、CPM ではそもそも平衡分布にあまり興味があるわけではなく、**過渡状態 (transient state)** に興味があるので、平衡状態をサンプルする手法を使う必要があるのか、という問題もある。この問題と同根なものは、時間の単位を決められないということである。とりあえずはパターンを形成させて、それと実験データとの整合性からモンテカルロの 1 ステップを何秒と決めることが多い。

またモンテカルロ法では温度 T が出てくるが、これがイジング・モデルの場合

¹⁸ ミクロなエネルギーから出発して、繰り込み的な観点から有効なサイト間エネルギーを定義できるかもしれない。ただし、細胞は非常に不均一な系なので簡単にはいかないだろう。

¹⁹ 例えば、有名なアレニウス型の遷移では、遷移のレート k は $\simeq Ae^{-\Delta E/k_B T}$ と書ける。ここで ΔE は始状態から見たエネルギーバリアの値である [2]。

と違って、熱浴の温度と同じとは限らない。つまり、この細胞の周辺の温度と対応しているかどうかはよく分からないということである。CPM コミュニティーでは、これを細胞の柔らかさを表すパラメータと考えることが多い。細胞によっては柔らかさが違うので、異なる種類の細胞に異なる T を対応させるということも行われる [7]。ただし、これを単純に行うと非平衡な状況を考えることになってしまうので、注意が必要である。

また、やや技術的だが、どのような格子を使ってサイトを定義するかということも問題になる。簡単な状況としては正方格子を考えることが多いが、空間の連続的な回転対称性を破ってしまうという問題がある。また、どこまでを同じエレメント σ として扱うかも厳密な処方箋があるわけではない。

これ以外にもいろいろと問題はあがるが、どんなモデルでも問題はあがるので CPM の有用性を減じるものにはならない。CPM はそのシンプルさ、計算の容易さ、拡張の容易さなどから広く使われている [7, 8]。ただし、上のような問題点は常に銘記しておかねばならない。もちろん、CPM をより精密化していく研究も今後行われるだろう。例えば、分子レベルから考えることでモデルを精緻化する、もしくは実験データと統計学を使うことでパラメータ推定を行うといったことが考えられる。

4.4. セル・ソーティング (cell sorting)

さて、上記の CPM のエネルギーから、セル・ソーティングと呼ばれる現象をシミュレートできる。これは現象としては、ある培地に 2 種類の細胞を適当に (ランダムに) ばらまいて、その後それぞれの細胞が集まり、分離するという現象である。これは物理的には相分離 (phase separation) という現象であり、高分子や合金で起こる現象としてよく知られている。それと同じことが細胞でも起こるということである。

図 7 左では condensing (C), noncondensing (N), medium (M) という 3 種類の細胞を考えているが、これが数値では $\tau = 2.1, 0$ に対応し、M もしくは 0 は細胞がない状態を表している。図にある計算では $J_{CC} = 2, J_{CN} = 11, J_{NN} = J_{CM} = J_{NM} = 16$ としており、これはまず $J_{CC} < J_{CN}$ であるから、C は N とくつつくよりは C とくつつき易いということを意味する (上の説明を見よ)。また、 $J_{CN} = J_{CM} = 16$ は大きいので、これは細胞 C, N は M とは交換しづらい、つまり、M のほうに伸びていかないことを意味する。また、この計算では $V_t(\sigma) = 25, \lambda_{\text{vol}}(\sigma)$

=2としており、これで細胞 C, N のエレメントはともに 25 という大きさをもつようになる。このようにパラメータを決め、あとはモンテカルロ法で細胞のダイナミクスを追った結果が図 7 左である。全体としては円状であり（これは表面張力からそうなる）、C の細胞が中心部分に集まり、それ以外の N から分離される。（ただし、これは長時間のダイナミクスでないので、まだ完全に相分離は起こっていない。）

また J_{CM} を小さくすると ($J_{CM}=2$)、今度は細胞 N のほうが内側に入るようになる（図 7 右）。 J_{CN} を J_{CC}, J_{NN} より小さくすると ($J_{CN}=1$)、相分離は起こらず、細胞 C と N がばらばらのまま、ただし C と N はくっつきあったまま存在するようになる（図 8 左）。また J_{CM} や J_{NM} を非常に小さくすると ($J_{CM}=J_{NM}=2$)、細胞 C や N は培地によりくっつくようになるので、C と N の間にも隙間ができてしまう（図 8 右）。このように、くっつきやすさのパラメータ J を変えるだけで様々な現象がシミュレートできる。

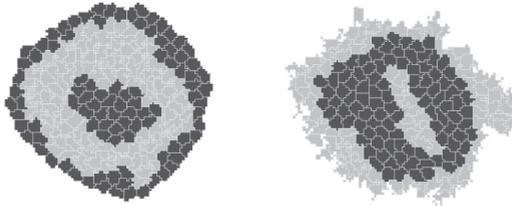


図 7：5000 モンテカルロ・ステップ過ぎた後の配置。左： $J_{CC}=2, J_{CN}=11, J_{NN}=J_{CM}=J_{NM}=16$ 、右： $J_{CC}=2, J_{CN}=11, J_{NN}=J_{NM}=16, J_{CM}=2$ 。C は薄い色、N は濃い色で表されている。これは `compuCell3d` [16] を使って計算した。

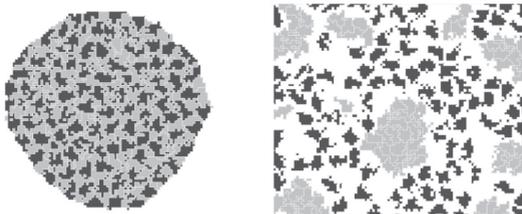


図 8：5000 モンテカルロ・ステップ過ぎた後の配置。左： $J_{CC}=2, J_{CN}=1, J_{NN}=J_{CM}=J_{NM}=16$ 、右： $J_{CC}=2, J_{CN}=11, J_{NN}=16, J_{NM}=J_{CM}=2$ 。C は薄い色、N は濃い色で表されている。これは `compuCell3d` [16] を使って計算した。

4.5. 化学走化性 (chemotaxis)

ただし、これまでのエネルギー項だけだと、例えば細胞が一定方向に動いたり、細胞が増えたり、その結果として細胞が管を伸ばしていく（これは後の血管新生の話につながる）、といった現象を模倣するのは難しい。そこで、Hogeweg らは以下の項を CPM エネルギーに付け加えることを提案した²⁰。

$$\Delta E_{\text{chem}} = -\lambda_{\text{chem}}[C(i) - C(j)] \quad (18)$$

このエネルギー項はモンテカルロで移動させるところの、サイト j と i （いま $j \rightarrow i$ という遷移を考えている）における、ある化学物質の濃度差を表すものであり、 $\lambda_{\text{chem}} > 0$ であれば、 $C(i) > C(j)$ となるとエネルギーが小さくなる。つまり、これは $j \rightarrow i$ というムーブに対して、化学物質の濃度が高くなるほうが好まれるということである。簡単に言うと、濃度が高いほうに細胞が動きやすいということであり、これは生物学の化学走化性 (chemotaxis) を表したものと言える。また、これを細胞がある方向に動くための「力」²¹ を与えるものとも考えることもできる。

例えば、図 9 では、細胞に左右から押し付けるような、もしくは引っ張るような力を化学走化性によって加えたときのことを調べている。この結果として、ポワソン比やヤング率（これらは物体の弾性と関係している量である）といった物理量を調べて実験と比較することができる。さらに、細胞が引き裂かれるときの力の強さなども調べることもできる（図 9）。これはメカノバイオロジー (mechanobiology) や機械的シグナル伝達 (mechanotransduction) の見地からも興味深い [17, 18]。例えば創傷治癒過程においても、組織を有効に引っ張ると傷の治りが早くなるということが知られており（図 10）、それとの関連を細胞レベルで調べることは今後の重要な課題である。

4.6. CPM モデルのその他の応用例

さて、化学走化性まで取り入れることで CPM モデルの表現の幅は広がり、様々な現象がモデル化できるようになった。ここではその数例を紹介しよう。

まずは血管新生 (angiogenesis) である。これは新しく血管ができることを意味しているが、その結果としていろんな場所に栄養が供給されるようになる

²⁰ 化学走化性のエネルギー項までを取り入れたモデルを Glazier-Graner-Hogeweg (GGH) モデルと呼ぶことも多い。

²¹ ただし、これはいわゆる力学的な力とは違うことに注意。

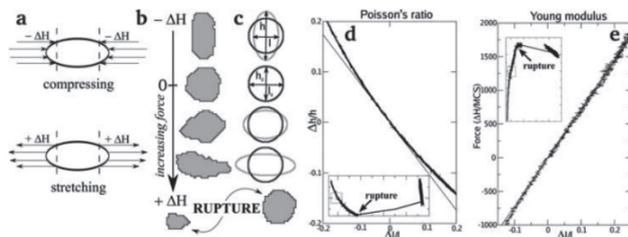


図9：化学走化性の項によって、細胞全体を左右から圧縮したり、引き延ばしたりするシミュレーション。[22] より転載。

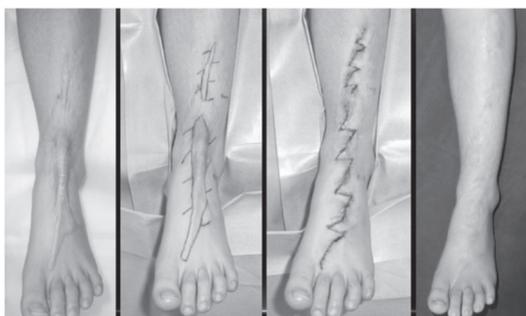


図10：ケロイド治療のときに行われる治療法。あえてケロイドの方向にまたがるようにジグザグに切って縫合することで、傷の治りが早くなり、ケロイドも消失している。図は <http://www.nms-prs.com/original26.html> より転載。

ので、正常細胞やがん細胞の成長を考える上でも基本的なプロセスである。これを *in vitro* (試験管内) のシステムとして調べる際は、Human Umbilical Vein Endothelial Cells (HUVEC) という細胞がよく使われる。そこでこの細胞 (以下 EC と略す) のモデル化を行おう。基本は CPM の 1 成分モデルだが、それだけでは血管が分岐しながら伸びていく様子をシミュレートするのは難しいので、ここでは Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) という化学物質の存在を取り入れて考える。これは細胞内で作られ、拡散していく分子である。この運動は以下の反応拡散方程式 (reaction diffusion equation) で記述される。

$$\frac{\partial C(\mathbf{r})}{\partial t} = D\nabla^2 C(\mathbf{r}) - \gamma C(\mathbf{r})\delta_{\tau(\mathbf{r}),M} + S\delta_{\tau(\mathbf{r}),EC} \quad (19)$$

ここで $C(\mathbf{r})$ は VEGF の濃度を表し、 D はその拡散定数を表す [2]。よって、右辺の第一項だけを考えればこれは通常の拡散方程式である。 γ は VEGF が媒

質 M にいるときに消失していく割合であり、 S は細胞 (EC) 内で VEGF が分泌される割合である。また、 $\delta_{\tau(r),M}$ 、 $\delta_{\tau(r),EC}$ はデルタ関数であり、前者であれば、 $\tau=M$ のときだけ 1 となり、それ以外は 0 となる関数である。

化学走化性のエネルギーによって、この VEGF と EC の間には結合が生じることになる。つまり、VEGF の濃度が大きいほうに EC は動くことになる。VEGF は細胞 (EC) 内で生産されており、培地 (medium) ではすぐになくなってしまふので、細胞内に VEGF が溜まっていると思ってよい。よって、EC は自分の中に入り込む運動をし、その結果、血管新生のようなダイナミクスが生じる (図 11)。ただし、実際の実験と比較するためには、これら以外の項や様々な効果を取り入れねばならず、シンプルなモデル化はできないようである。また、そもそも血管の中に血流が流れるということも再現されてないので、これを血管新生のモデルというのはやや羊頭狗肉かもしれない。

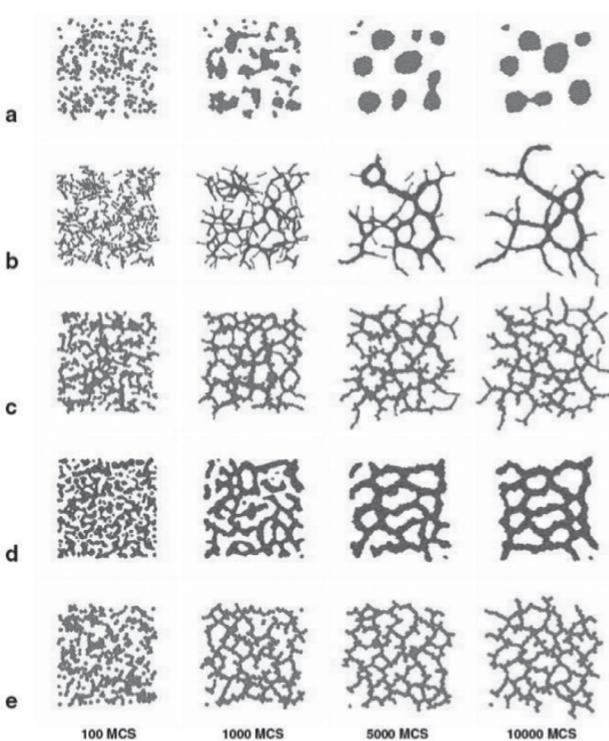


図 11：血管新生の CPM によるモデル化。[19] より転載。

また腫瘍増殖 (tumor growth) のダイナミクスもモデル化されている (図 12)。このとき、細胞は分裂して増えることを想定するが、それを以下のようにモデル化する。細胞の形がある程度以上「異方的」になったときに、それが有糸分裂 (mitosis) を起こして2つに分かれるとする。その結果が図 12 であるが、色の薄いものほど有糸分裂を頻繁に起こす細胞であり、これは細胞の「周辺」から有糸分裂が起こりやすいということを示している。細胞の中心と比べて周辺の方が動くスペースがあるので、変形しやすく、その結果分裂しやすいと解釈することもできるだろう。また、細胞数 N の増加が Gompertz 則

$$\frac{dN}{dt} = \beta N \log \left(\frac{A}{N} \right) \quad (20)$$

に従うということも示されている。

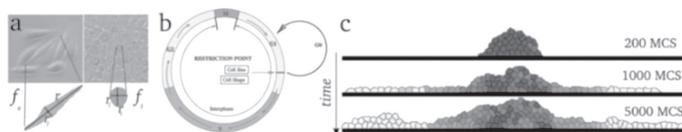


図 12: 腫瘍増殖の CPM によるモデル化。[22] より転載。

最後に細胞性粘菌のことに触れよう [20]。細胞性粘菌のモデル化は何十年も前から様々な研究者によって行われているが、Savil と Hogeweg は CPM を使ったモデル化を試みた [21, 22]。この系は、周りにバクテリアなどの餌があるときは、アメーバ細胞の集団であるが、餌がなくなってくると、一部の細胞が cAMP (環状アデノシンリン酸) という化学物質を放出して、それをシグナルとして一箇所に集まる。それから、集まった細胞は 1 個のナメクジのように運動し、適当なところで止まる。最終的にはそのナメクジ状の集団は植物が発芽するように形態を変化させ、頭にある小さな細胞を培地に撒き散らす (図 13)。これは非常に複雑なプロセスであり、分子レベルから理解するのは現在でも難しいが、CPM である程度模倣することは可能である。例えば、cAMP によって 1 箇所に集まるのは、これは化学走化性そのものなので、上のエネルギー項を使ってシミュレートできる。しかし、実際は cAMP の濃度が小さいことからくる揺らぎの問題、ナメクジ状になっているときの cAMP の螺旋波状のダイナミクスの効果、細胞内のシグナル伝達の影響の効果など、考えなければならない要因は山のようにあり、CPM による完全なモデル化はまだ先のことになるだろう。

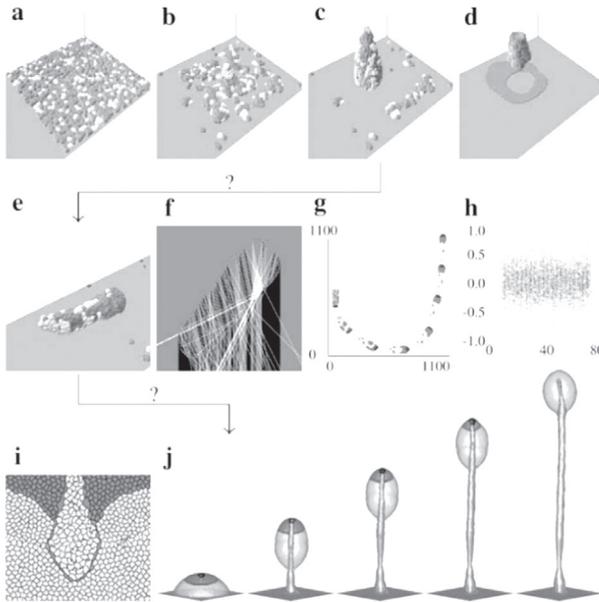


図 13：細胞性粘菌の CPM によるモデル化。[22] より転載。

5. まとめと展望

本稿では、統計力学の基礎の議論まで遡って、細胞のダイナミクスを統計力学的にモデル化する Cellular Potts Model (CPM) の説明とその応用計算例について述べた。CPM は今から 20 年ほど前に Glazier と Graner によって考えられ、Hogeweg が化学走化性の項を入れることでモデルとしての表現力が上がった、細胞ダイナミクスの離散的なモデルである。CPM を使ったシミュレーションは、基本的には統計力学におけるイジング・モデルのモンテカルロ法を使ったシミュレーションと同じであるが、それに化学物質の拡散ダイナミクスを取り入れることで、細胞の動きによりリアリティを与えることができる。その結果、セル・ソーティング、血管新生、腫瘍増殖、細胞性粘菌の動きなどを CPM で効率的にシミュレートできた。その他の応用例に関しては、[7, 8]などを参照。また、メカノバイオロジーとの関連についても軽く触れた。ただし、細胞のすべてを考慮している訳ではなく、あくまでも計算の都合で簡略化されたモデルであるので、様々な限界があり、そのことについても議論を行った。特に今後は CPM をより精緻化

していくことと、実験データとの比較やそれを使った統計的なパラメータ推定などを行う必要があるだろう [23, 24]。

謝辞 小田切健太氏（専修大学）には原稿を読んでいただき、有用なコメントを頂いた。ここで感謝いたします。

参考文献

- [1] Bruce Alberts, Dennis Bray, Karen Hopkin, Alexander D Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, Peter Walter, *Essential Cell Biology (4th edition)*, Garland Science (2013) ; 翻訳は、Essential 細胞生物学（原著第4版），中村桂子・松原謙一監訳，南江堂（2016）.
- [2] Daniel M. Zuckerman, *Statistical Physics of Biomolecules: An Introduction*, CRC Press (2010) ; 翻訳は、藤崎弘士・藤崎百合訳、生体分子の統計力学入門、共立出版（2014）.
- [3] 田崎晴明, 統計力学 I, II, 培風館（2008）.
- [4] Arnaud Chauvire, Luigi Preziosi, Claude Verdier (editors), *Cell Mechanics: From Single Scale-Based Models to Multiscale Modeling*, Chapman and Hall/CRC (2010).
- [5] Thomas S. Deisboeck, Georgios S. Stamatakos (editors), *Multiscale Cancer Modeling*, CRC Press (2010).
- [6] Christopher P. Fall, Eric S. Marland, John M. Wagner, John J. Tyson (editors), *Computational Cell Biology*, Springer (2005).
- [7] Marco Scianna and Luigi Preziosi, *Cellular Potts Models: Multiscale Extensions and Biological Applications*, CRC Press (2013).
- [8] Alexander Anderson and Katarzyna Rejniak (editors), *Single-Cell-Based Models in Biology and Medicine*, Birkhaeuser (2007).
- [9] T. S. Komatsu, N. Nakagawa, S.-i. Sasa, and H. Tasaki, *J. Stat. Phys.* **158**, 1221-1270 (2015).
- [10] <http://theochem.chem.okayama-u.ac.jp/wiki/wiki.cgi/exp11> のイジングモデルのページを参照。
- [11] P. Kratzer, Monte Carlo and kinetic Monte Carlo methods – a tutorial, arXiv:0904.2556.
- [12] <https://ja.wikipedia.org/wiki/ライフゲーム> を見よ。
- [13] <https://ja.wikipedia.org/wiki/セル・オートマトン> を見よ。
- [14] J. A. Glazier and F. Graner, *Phys. Rev. E* **47**, 2128-2154 (1993).
- [15] R. D. Astumian, *Am. J. Phys.* **74**, 683-688 (2006).
- [16] Maciej H. Swat, Susan D. Hester, Randy W. Heiland, Benjamin L. Zaitlen, James A. Glazier, Abbas Shirinifard, *CompuCell3D Manual and Tutorial Version 3.6.0*, <http://www.compuCell3d.org/Manuals>.

- [17] 曾我部正博 (編集), メカノバイオロジー, 化学同人 (2015).
- [18] Chris R. Jacobs, Hayden Huang, and Ronald Y. Kwon, *Introduction to Cell Mechanics and Mechanobiology*, Garland Science (2012).
- [19] R. M. H. Merks and J. A. Glazier, *Nonlinearity* **19**, C1-C10 (2006).
- [20] 前田靖男 (編著者), モデル生物: 細胞性粘菌, アイシーピー (2000).
- [21] N. J. Savil and P. Hogeweg, *J. Theor. Biol.* **184**, 229-235 (1997).
- [22] A. F. M. Marée, V. A. Grieneisen, and P. Hogeweg, in [8].
- [23] N. B. Ouchi, J. A. Glazier, J. P. Rieu, A. Upadhyaya, and Y. Sawada, *Physica A* **329**, 451-458 (2003).
- [24] M. Alber, N. Chen, T. Glimm, and P. M. Lushnikov, *Phys. Rev. E* **73**, 051901 (2006).

(受付日 平成 28 年 9 月 30 日)

(受理日 平成 28 年 11 月 30 日)

Research Note

Implementing an Extensive Reading Project at a Medical School in Japan

Paul Stone* · Sumie NISHIKAWA*

Introduction

In this report, we discuss our ongoing attempts to implement an Extensive Reading (henceforth ER) project as part of a compulsory foreign languages course delivered to first-year students at Nippon Medical School. We begin by introducing ER and English teaching at the School, before going on to discuss the practical issues that arose as we attempted to implement the project in 2015, and then our attempts to address and resolve these problems in 2016. We conclude the report by discussing some issues that we hope to address in the future.

Extensive Reading

Research has found that students who read substantial amounts of text regularly for enjoyment outside of the classroom have higher levels of reading achievement (Guthrie & Cox, 2001, p. 159). However, the way in which reading has traditionally been taught has focused on analysis of comparatively short and difficult texts, which means that language learners may not be getting the kind of extensive reading practice that has been found to be predictive of higher reading achievement.

ER is an approach to teaching reading that focusses on students reading large amounts of relatively easy texts, usually for pleasure, in order to improve their ability to read fluently (i.e. to read quickly while maintaining

* Foreign Languages Department, Nippon Medical School

comprehension), learn vocabulary, and increase their motivation to read. An important resource in an ER project is a library of books, usually called *graded readers*, which are written at a level of lexical and grammatical difficulty suitable for language learners. Graded readers at the easiest levels feature only a relatively small variety of English words (only the most common words), whereas more difficult graded readers will more closely resemble native-level texts, with more complex grammar and the inclusion of less common (and more difficult) vocabulary items. Studies have found that ER projects lead to improved comprehension and reading-rate (e.g. Elley, 2000; Robb & Stusser, 1989; Tanaka & Stapleton, 2007), and that ER is also associated with positive attitudes to reading (e.g. Elley, 2000; Guthrie & Cox, 2001; Lightbown, et al. 2002).

Day and Bamford (2002) set out ten principles for successful ER programmes, which they call “the basic ingredients of extensive reading” (p. 136-137). These principles, which focus on reading easy texts for pleasure, promoting learner autonomy and choice, and de-emphasizing assessment, are as follows:

1. The reading material is easy.
2. A variety of reading material on a wide range of topics is available.
3. Learners choose what they want to read.
4. Learners read as much as possible.
5. The purpose of the reading is usually related to pleasure, information and general understanding.
6. Reading is its own reward.
7. Reading speed is usually faster rather than slower.
8. Reading is individual and silent.
9. Teachers orient and guide their students.
10. The teacher is a role model of a reader.

(Day & Bamford, 2002, pp. 137-141)

However, ER has not been without its criticisms. For example, Mori (2015, p. 131-2) has found that, in a context such as Japan where students are learning English as a foreign language, the reality is that students’ motivation may not be so straightforward. She concludes that no studies provide convincing evidence

for ER's ability to promote intrinsic motivation, and that it is naïve to assume that simply giving students choices of interesting texts to read will lead to increases in motivation to read. Furthermore, understandings of motivation may differ in different cultural contexts, so that while choice and autonomy, practiced by following the third principle in Day and Bamford's (2002) list, may enhance intrinsic motivation in a Western context such as the US, it is argued that in East Asia learners may be more motivated when respected others make choices for them (Iyengar & Lepper, 1999; Kitayama, et al., 2007), rather than when they are asked to make choices for themselves.

How to effectively implement an ER programme into an existing curriculum also needs consideration. ER places demands in terms of resources, such as a library of graded readers, and time, as students need to regularly read large amounts of texts (Grabe, 2009, p. 312). So those who start to run an ER programme need to decide whether to set up a classroom library and/or work collaboratively with their school library and also whether to run ER as a standalone activity or as part of classwork.

A traditional approach to ER has seen it as a standalone activity that is separate from other classwork, often done outside of class and or in silent reading time set aside in class. For example, Macalister (2008) describes how ER may be successfully implemented in an ESL context as a standalone activity, by setting aside time for silent reading each day in class, with the classroom teacher modelling good reading behaviour, so that the students were not expected to do the majority of reading on their own outside of class. However, the class in this study met every day for three or four hours, which meant that enough time was available to do this. This is not a luxury available to all language teachers.

The view of ER as a standalone activity has also been challenged. Researchers have argued that ER should be incorporated into class programmes, for example as a springboard to other language learning activities, as learners may not read books on their own outside of class, and also because this may support learners and build motivation (Green, 2005; Macalister, 2015; Mohd Asraf & Ahmad, 2003; Robb, 2002).

One direction we should bear in mind when designing an ER programme is

suggested in Grabe and Stroller (2011). Referring to the reading motivation study by Takase (2007) in a Japanese high school context, they suggest that “If we can improve students’ motivation for L2 reading through instruction, we should also witness improved comprehension over time” (p. 124). Then if we can set up a (successful) ER project as a standalone activity with certain specifications in mind, and if we can see some improvement in reading motivation, this has a potential to be regarded as an instructional practice that positively affect student motivation to read.

Reading at NMS

Developing reading proficiency in English has been widely acknowledged as an important aspect of English learning, and many instructional approaches have been devised and carried out to suit individual educational settings. In a Japanese university context, particularly in a medical school setting, there is likely to be a greater need for nurturing the reading ability of English as “the language of science, technology and advanced research” (Grabe & Stroller, 2011, p. xiv). Grabe and Stroller maintain that “many people in multilingual settings need to read in an L2 (and not only English as the L2) at reasonably high levels of proficiency to achieve personal, occupational and professional goals” (2011, p. xiv). Thus, as ER has been found to improve reading comprehension, speed, and possibly motivation, bringing ER as an approach to the teaching of English reading into our curriculum seems a reasonable step towards meeting the needs of students.

The English Programmes before 2014

Before the current curriculum started in 2014, compulsory English classes for the first year were given twice a week over an academic year (30 weeks). In two days of a week, English classes were given concurrently with German/French classes over two sets of 90-min sessions, by allocating the half of the students (about 60 students) to English and the other half to either French or German. For example, a student who took English in the first period needed to take either French or German in the second period. Within the limitation of the

curriculum at that time our department had wanted to cover four strands, and at the same time, wanted to organize smaller class sizes. To address both of the issues we decided to divide each English class (of 60 students) into two groups, which were taught by two different teachers, conventionally by a pair of a full-time teacher and a part-time teacher. As a result, students had four sets of 15-week sessions, each of which covered reading, writing, listening, and speaking.

The reading component, given in the same time slot as the writing component, was mainly taught by part-time teachers. Its focus varied slightly according to their specialization, but mainly on intensive reading of academic texts, including ones on medical topics. As the writing class was considered to involve more work load for checking students' writing assignments outside their regular class time, our department took its responsibility among full-time members.

The new curriculum

Since the new curriculum was introduced in 2014, our department has maintained the small class size policy. In 2014 English classes were given three times a week (instead of two in the old curriculum), but each class lasted 70 minutes (instead of 90 minutes). One of the three slots in a week followed the old curriculum and was used for reading/writing. Another was used for medical communication, which was situated as a development of the listening/speaking component in the old curriculum. The last slot, added in the new curriculum, was used for discussion/presentation purpose to incorporate communicative aspects of English learning more fully. In the new curriculum, therefore, the total number of English classes became higher and the total English class time became longer; however, the total class time given to the reading component has become shorter (70 min session over 15 weeks).

The new curriculum at NMS has been set to meet the so-called “global standards” as many other medical departments/schools in Japan have intended to do so, moving towards outcome-based education programmes. One way of applying them to English education has been suggested by Japanese Society for Medical English Education. Their guidelines include being “able to read

and understand textbooks and articles in English” in the outcomes of English Education. It seems evident that acquiring reading fluency has been, and will be an important aspect of English education.

Extensive reading at NMS in 2015

In 2015, the Department of Foreign Languages brought in three new teachers to deliver English classes to all first year students. As there were only five English teachers in the department, this represented a large change in personnel, and brought with it opportunities to discuss teaching practices. One new direction suggested by the new teachers was that the course may support the development of reading fluency through the implementation of an ER project. The Department already had a pre-existing library of graded readers at various levels of difficulty, which had been little used. Given the range of TOEFL scores of first-year students at the school, the graded readers seemed to offer a way in which to cater to all of their needs, and discussion quickly turned to how to make use of them.

The majority of first-year university EFL classes in Japan run over the course of one academic year, or at least one semester. This gives teachers a period of between 10-15 weeks contact at a time with a particular group of learners, and teachers wishing to implement an extensive reading project can manage that project over the course of the semester or year from the classroom.

However, the situation is a little different at Nippon Medical School. There are three terms over the academic year, with the first two terms being approximately twelve weeks each, while the third is six weeks. There are approximately 120 first-year students, who are divided into four groups with about 30 students in each. In order for each teacher to teach all first year students in a term, the terms are divided into two parts. In the first part of the term, a teacher will deliver their course to two of the four groups, and then in the second part of the term the teacher will deliver their course to the other two groups. Therefore, teachers do not see the groups throughout the whole of each term. Rather, they meet each group for approximately six weeks in each of the first two terms, and for about three weeks in the third term. By way of example, the

teaching plan for English 1A in Term 1 is shown in Table 1.

Table 1. *Plan for English 1A in Term 1*

	Teacher A	Teacher B
Weeks 1-6	Groups 1 & 3	Groups 2 & 4
Weeks 7-12	Groups 2 & 4	Groups 1 & 3

As can be seen, two teachers share responsibilities for one course (in this case English 1A). However, the individual teachers' components are independent from each other, so that English 1A should not necessarily be thought of as one course taught over the semester, but should be thought of as two different courses, one taught by each teacher for six weeks. Although the term is ordinarily scheduled to last twelve weeks, in the event of public or school holiday classes may sometimes be cancelled so that courses may run for a shorter amount of time.

This situation meant that in 2015 the teacher responsible for teaching reading only saw each group of learners for six weeks at a time, which presented us with problems regarding the best way in which to implement the ER project. For example, if we wished to encourage students to be doing extensive reading across the whole duration of each term, how should we monitor and provide support to those students who were not currently taking the reading classes? As some of the students began their reading classes halfway through the term, how should we set the project up so that all students could begin the ER project from the start of the term?

A further complication was that the teacher responsible for teaching the reading classes was working at the university part-time. Our solution for this was that, in order to provide support to students and manage our library while the part-time reading teacher was not on campus, one of the full-time members of the department took responsibility for coordinating the ER project. That is, one (part-time) teacher took responsibility for setting up and monitoring the ER project from within the classroom, while another (full-time) teacher took responsibility for coordinating the ER project outside of the classroom.

Introducing MReader

In order for the full-time teacher to be able to effectively monitor all 120 first-year students from outside of the classroom, it was decided to look for a suitable online system. Our basic requirement was that the system should be able to track the amount of books that students read. MReader (<http://mreader.org/index.php>) and Xreading (<http://xreading.com/>) were the two options that we found. Xreading is an online library that was developed to make ER programmes easier for teachers to manage. While in many ways the system seemed suited to our needs, the electronic nature of the library was problematic for us. Firstly, we would have needed to set up students with accounts, which are not free. Deciding how to set up the accounts and whether or not we wanted to place an extra financial burden on our students meant that this option seemed less suitable for our situation. Furthermore, we were unsure if learners would want to read electronic, rather than physical books. As we already had a library of physical books available, and had little time in which to set up the ER project, we decided to opt for a system that would let us use the physical library at our disposal.

This led us to choose MReader. MReader, designed and maintained by Thomas Robb at Kyoto Sangyo University, is an online site that students can be registered to which allows teachers to track their reading progress.

Should we quiz students? Defying principle 6

In order to track students' progress, and so obviate the need for book reports or summaries, MReader includes quizzes that are designed to check that students have read and understood the graded readers. Once a student has read a book, they sign into the site and take the relevant quiz. If they score more than 60% on the quiz, that book is marked as 'read' and the number of words in that book is added to the student's total for that term. It seemed this would provide us with a useful way of managing the ER project across the term-time.

The inclusion of online quizzes, which students need to pass in order to successfully complete the ER project, may be seen as conflicting with Day and Bamford's (2002) original ten principles, in particular principle six: reading is its own reward (Robb, 2015). However, Yoshida (2004) has argued that in a

Japanese university context teachers need to make extra efforts to get students to read, and that seeing reading as its own reward may be better thought of as a long-term goal rather than an immediate goal. We felt that, in a medical school where most students are not necessarily highly motivated to study English, students may be reluctant to read for its own sake. Robb (2015, p. 148) has argued that the defining factor of ER is reading large amounts of material, and that any project that accomplishes this goal may be defined as “extensive reading”. We decided that, as we expected many of our students to have low motivation to do large amounts of reading, the MReader quizzes could provide some encouragement for the students to read, and hoped that positive reading experiences may help achieve a longer-term goal of encouraging students to develop reading practices.

2015: The procedure and problems

At the beginning of the first term, twenty minutes were set aside to explain the ER project in a special introductory session given to all students. Students were then given time to choose a book from a book trolley to read at home, and they were also instructed to read the book within a week. A week later, more time was set aside in a special class given by the part-time teacher to all students on the same day, in order to introduce students to their MReader accounts, explain their reading targets, and to show them how to take a quiz. Students were advised to keep reading throughout the remainder of the term in order to achieve their reading targets.

However, due to a lack of coordinated planning, we had some problems in the first year of implementation. The part-time teacher set the students a target of reading at least one book a week, or 75,000 words over the term, and in order to achieve a passing grade for the reading course that he taught, students needed to reach this target. However, the teacher arrived at this total of 75,000 words independently, and the full-time teacher had already set a target of 60,000 words on MReader, which all students noticed when they first signed into their accounts. The full-time teacher had arrived at the 60,000 word total by taking the average amount of words in the graded readers, multiplying this by the number

of weeks the term ran for, and then rounding the number down to make the target more achievable for lower level learners. This meant that students had been given three different targets: one book a week, 60,000 words, and 75,000 words, which created some confusion for them.

Students were slow to proceed with the ER project, even those who were taking the reading classes first. It was not until the end of the first term, when the students felt pressure to meet the aims of the course in order to avoid failing, that they began to take the MReader quizzes. We also noticed that a very large number of students were engaging in suspicious behaviour. For example, some students took a large number of quizzes in a single day, which suggests that they were taking quizzes for books that they had not read (MReader allows teachers to restrict how many quizzes a student can take in one day, and we needed to switch this feature on to prevent this behaviour continuing, which upset some students who actually did want to read more than one book in one day, for example in their free-time at the weekend). Other students explained that they first opened the quiz for a book on MReader, and then searched for the answers to the questions in the book. They had not understood that this was not the way in which MReader was intended to be used, and rather than focussing on the reading first, they were concentrating on answering the quiz questions. MReader also has features that allow teachers to check for suspicious behaviour, such as students who take the same quizzes at the same time, and students who have a high number of quizzes in common. We found many students took the same quizzes, often at approximately the same time, and often from the same IP address. When we confronted the students with this, nearly half of them admitted to attempting to cheat the system.

The word targets, quizzes, in-class activities, and so on, did not motivate the students to take ER seriously. Most of the students did not attempt to read books on a weekly basis, many of them regularly attempted to cheat the system, and many only showed interest in the project near deadlines (if at all). This was particularly noticeable at the initial stage in the first term. Nobody started to take MReader quizzes until mid-May, and even at the end of May over half of the students still read no book. At the end of June, about two weeks before the term-

end deadline, only 38% reached the MReader target of 60,000 words, and nearly 30% read less than 30,000 words (the half of the target word counts). Although a small number of students were keen to meet their reading targets, we wanted to see that happening in a wider range of students (in a compulsory English course).

Extensive reading at NMS in 2016

In the 2015-16 academic year we had encountered a number of problems in trying to implement the ER project. There had been confusion about reading targets and how credit would be assigned, students had not read regularly throughout each term, a large number of students did not reach their targets, many of those who did reach their targets were only motivated to do so when deadlines approached, and a large number of students had attempted to cheat the MReader system.

ER as a standalone “reading project” implemented collaboratively

In order to address these problems, we revised our approach in the 2016-17 academic year. Firstly, we decided that credit for ER would not be given as part of the requirements for any one class (as happened in 2015-16), but would be given as a standalone unit that counted towards the students’ total grade assigned for the year. By not tying ER to any one class in particular, we aimed to emphasize that it was the students’ responsibility to do the project in their own time. However, we were clear that support was available, and that if students had any problems they could approach us in class or in the Department of Foreign Languages, where the graded readers were kept.

Setting up of the ER project took place in an introductory session, and then in three different classes taught by different teachers over the following two weeks. This involved collaboration between four different teachers. The introductory session was given to students in the first week of the academic year in order to explain the foreign language courses offered to them. During this session, ER was briefly introduced and Figure 1 was shown to the students in order to illustrate how the courses in the Department of Foreign Languages

department were organized. It was explained that the green boxes were out-of-class projects that students were expected to do by themselves. Emphasis was placed on the fact that the Reading Project (bottom left) carried the same weight as the regular classes. The dotted line was intended to show that the Reading Project covered reading skills, which would also be covered in English 1A.

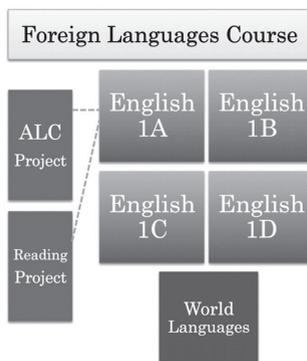


Figure 1

A week later, a short amount of time was set aside during the first reading class in order for one of the teachers to clarify the concept of extensive, as opposed to intensive, reading. On the next day, 20 minutes of a discussion class taught by different teachers was set aside to remind students about extensive reading, and to give students time to select their first book from the book trolley that had been brought to the classroom. They were given a deadline to read this book by, and told to bring their book to the ‘medical communication’ class (English 1D) on that day.

More practical and structured use MReader

A week later, on the day of the deadline, time was set aside in the first ‘medical communication’ class, taught by yet another teacher, in order to give a full 70min hands-on session devoted to the reading project to make sure that everyone started working on it. First, the MReader site was introduced to the students. For ease of access, a link to the site was created on WebClass (an online

educational support system available at NMS), yet careful explanation was given about the ID and password that should be used specifically for this site. (It turned out later that this like was more frequently used in later months than expected, suggesting that it facilitated MReader access.) Once they accessed their own “Reading Report” page, it was made sure that they familiarized themselves with various features on the page, and that they were notified of their individual goals to reach that were shown in their own page. Their individual reading targets had been set beforehand (by the full-time teacher who managed MReader) both for the first term and for every four weeks, based on their TOEFL scores (higher TOEFL scores meant higher reading targets). It was also explained that their targets were the minimum amount that they needed to read, and that every 1,000 words that they read over the target would give them extra credit. It was aimed that introducing the monthly reading targets would motivate students to make a good start and help them maintain regular reading habits.

After the preparatory session, the students took their first MReader quiz in class. This helped in making sure that the kind of problems or uncertainties the students encountered were solved on the spot (without discouraging them to carry on using the site). For example, MReader may (only occasionally) not include quizzes for some graded readers that are newly published, or MReader may ask game-like questions that may confuse students (eg. sequencing jumbled sentences on the screen).

Those who finished a quiz moved on to return their books and select new books from the trolley. They were allowed to borrow a book at a time from our library and were encouraged to use the School Library to borrow more because we needed to avoid running out of graded reads at certain levels, which was a problem in 2015. They were also given instructions on how to fill out the sign-out sheet. At this time, students were given a deadline to take the MReader quiz for their next book, as well as come to the Department of Foreign languages to return the book and select a new one.

At this point, the ER project was considered to be set up, and the full-time teachers monitored the project by frequently checking MReader, and by talking to students when they came to the office to select or return books. Time was not

given in class to do ER-related activities, or to otherwise manage the ER project. Messages or reminders about the ER project were given via electronic and actual noticeboards that students needed to check on a daily basis.

Following this process meant that students had clear reading targets for which credit was assigned in a clear way, and they could see that the Department treated the ER project seriously. The set up of the project was handled in a collaborative manner, with coordination amongst a number of part-time and full-time teachers, and this meant that the ER project was not seen as being simply a part of a reading class managed by one teacher, but an important project in its own right. Further, by initially setting deadlines by which to read the first books, we ensured that all students made a productive start to the project and got into good habits early on, whereas in 2015-16, many students didn't get off to a quick enough start, which meant that the targets became too hard to reach. As a result, over 80% of the 2016 students took at least one MReader quiz in April, and nearly 50% took more than two quizzes, meaning these students read at least two books during (less than) the last two weeks in April. After making a good start, over 20% of the students read more than four books, keeping one-book-a-week reading habits. At the end of their third month, about a week before the term-end deadline, approximately 42% of the students had already reached their individual 1st-term targets, and another 30% had read more than three quarters of their target word counts. Less than 5% had read below a half of their target.

Future considerations

We need to give some consideration to Day and Bamford's (2002) fourth principle: "learners read as much as possible". We have found that in 2016 the amount that students read tailed off towards the end of the first term, once they had achieved their targets. This means that students were extrinsically motivated to hit the targets that we set them, and once the targets had been met, they were no longer motivated to keep reading.

Although the project was successful in that almost all of the students reached their targets for the first term, this suggests that the project may not have been successful in developing the students' enjoyment of reading, at least in the

first three months of implementation. If they had been enjoying their reading, we might expect them to have continued to read beyond their minimum targets. As well as this, the targets may have been set a little too low, as most students were able to reach their targets well before the final deadline. We may not, therefore, have been encouraging out students to “read as much as possible”.

Related to this is the issue of exactly how we set the target. Do we focus on the number of words (which is a feature of MReader), or do we wish to focus on promoting regular reading by asking students to read a certain number of books a week? Setting a numerical target ensures that students will read enough, and will not simply choose books because they are short. However, once students have reached this target, they often stop reading, which means that they do not read regularly throughout the duration of the term. One possible solution to this problem is to ask them to read at least one book a week, and to also ensure that they reach their word target while doing so (i.e. both targets need to be reached). However, this again means that there are two targets, and experience has shown that this may confuse some students.

Conclusion

We are still implementing the project, and future research is required to properly evaluate how successful it has been. However, our experiences to date suggest that adopting a coordinated, structured, and collaborative approach to extensive reading, in which a number of teachers work closely together to help set up and implement the project, is necessary if we wish for students to regularly engage in extensive reading outside of the classroom. This involves lots of work in the beginning stages of the project in order to help students develop good reading practices, such as setting tight deadlines for the first few books to be read by. Furthermore, it seems as though impressing upon students that the teachers and department consider extensive reading to be of high importance may be another important factor in encouraging them to engage in the reading. In 2016-17, the reading project was set up in such a way as to give the impression that it carried a similar amount of weight as each of the regular classes.

It is not clear how much the reading project is developing students' pleasure of reading, or whether or not the amount that they are reading is sufficient to have a positive effect on their reading proficiency. Future research will help to address these questions. In the future, we will need to consider what our actual goals are for this project. Is it our goal that students will develop an interest in reading English books for pleasure, or do we simply hope to encourage students to read a large amount of words in the hope that this will lead to improvements in reading speed and comprehension, regardless of whether or not they enjoy reading for its own sake?

References

- Day, R. R., & Bamford, J. (1998). *Extensive reading in the second language classroom*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Day, R. R., & Bamford, J. (2002). Top ten principles for teaching extensive reading. *Reading in a Foreign Language* **14**, pp. 136-141.
- Elley, W. (2000). The potential of book floods for raising literacy levels. *International Journal of Education* **46**, pp. 233-55.
- Grabe, W. (2009). *Reading in a Second Language: Moving from Theory to Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Grabe, W., & Stoller, F. L. (2011). *Teaching and researching reading*. (2nd ed.). London: Pearson Education.
- Guthrie, J., & Cox, K. (2001). Motivational and cognitive contributions to students' amount of reading. *Contemporary Educational Psychology* **26**, pp. 116-31.
- Iyengar, S. S., & Lepper, M. R. (1999). Rethinking the value of choice: A cultural perspective on intrinsic motivation. *Journal of Personality and Social Psychology* **96**, pp. 349-366.
- Japan Society for Medical English Education. (2015). *Medical English education guidelines corresponding to the Global Standards for Medical Education*. Retrieved from http://www.medicalview.co.jp/JASMEE/Guidelines_Eng_rev.pdf
- Kitayama, S., Duffy, S., & Uchida, Y. (2007). Self as cultural mode of being. In S. Kitayama & D. Cohen (Eds.), *Handbook of cultural psychology* (pp.136-174). New York: The Guilford Press.
- Lightbown, P., Halter, R., White, J. & Horst, N. (2002). Comprehension-based learning: the limits of 'do it yourself'. *Canadian Modern Languages Review* **58**, pp. 427-64.
- Macalister, J. (2008). Implementing extensive reading in an EAP programme. *ELT*

Journal **62(3)**, pp. 248-256.

- Macalister, J. (2015). Guidelines or commandments? Reconsidering core principles in extensive reading. *Reading in a Foreign Language* **27(1)**, pp. 122-128.
- Mohd Asraf, R., & Ahmad, I. S. (2003). Promoting English language development and the reading habit among students in rural schools through the Guided Extensive Reading program. *Reading in a Foreign Language* **14(2)**, pp. 136-41.
- Mori, S. (2015). If you build it, they will come: from a “Field of Dreams” to a more realistic view of extensive reading in an EFL context. *Reading in a Foreign Language* **27(1)**, pp. 129-35.
- Robb, T. (2002). Extensive reading in an Asian context: an alternative view. *Reading in a Foreign Language* **14**, pp. 146-147.
- Robb, T. (2015). Quizzes: a sin against the sixth commandment? In defense of MReader. *Reading in a Foreign Language* **27(1)**, pp. 146-51.
- Robb, T., & Susser, B. (1989). Extensive reading vs. skills building in an EFL context. *Reading in a Foreign Language* **5(2)**, pp. 239-51.
- Takase, A. (2007). Japanese high school students’ motivation for extensive L2 reading. *Reading in a Foreign Language* **19(1)**, pp. 1-18.
- Tanaka, H., & Stapleton, P. (2007). Increasing reading input in Japanese high school EFL classrooms: an empirical study exploring the efficacy of extensive reading. *The Reading Matrix* **7(1)**, pp. 115-26.
- Yoshida, H. (2014). An approach to extensive reading: Active involvement during sustained silent reading. *The Language Teacher* **38(6)**, pp. 19-22.

(受付日 平成 28 年 9 月 30 日)

(受理日 平成 28 年 11 月 30 日)

投稿規定

1. 本誌は研究成果の発表を目的とする。
2. 投稿は本学基礎科学部門に所属する専任教員に限る。
ただし、編集委員会が認めた場合はこの限りではない。
3. 原稿は他誌に未発表のものに限り、その体裁は「投稿原稿執筆の手引き」によるものとする。
4. 原稿提出時に、その種別（論文・総説・解説・研究ノート・研究報告・教育ノート・教育報告・翻訳・書評など）を明記し、欧文タイトルをつける。
なお種別の審査決定は編集委員会が行う。
5. 校正は2校までを投稿者の責任において行う。
6. 枚数制限などをする場合がある。

編集委員

野村 俊明（代表） 檜村 正美（幹事）
中村 成夫 中澤 秀夫 藤崎 弘士

編集協力学外研究者

大江 知之（慶應義塾大学准教授）	小菅 隼人（慶應義塾大学教授）
小林 正規（千葉工業大学上席研究員）	佐々木正弘（聖心女子大学教授）
鈴木 政登（東京慈恵会医科大学教授）	鈴木 隆芳（大阪経済大学准教授）
竹尾富貴子（お茶の水女子大学名誉教授）	田辺 春美（成蹊大学教授）
露崎 俊和（青山学院大学教授）	戸田 幹人（奈良女子大学准教授）
長島 隆（東洋大学教授）	福森 崇貴（徳島大学准教授）
服部 哲也（慶應義塾大学教授）	
堀越 勝（国立精神・神経医療研究センター認知行動療法センターセンター長）	
松井 優子（青山学院大学教授）	宮寺 隆之（京都大学准教授）
望月 清（首都大学東京名誉教授）	米澤 宣之（東京農工大学教授）
Andrew Fitzsimons（学習院大学教授）	Reuben Gerling（元日本大学教授）
Clive Langham（日本大学教授）	Timothy Minton（慶應義塾大学教授）

日本医科大学基礎科学紀要 第45号

平成28年12月18日 印刷

平成28年12月25日 発行

編集 日本医科大学基礎科学紀要編集委員会

発行 日本医科大学

基礎科学主任 野村俊明

〒180-0023 東京都武蔵野市境南町1-7-1

日本医科大学 武蔵境校舎

印刷 栄和印刷株式会社

〒211-0036 川崎市中原区井田杉山町12-2
