

日本医科大学基礎科学紀要

第 47 号 2018 年 12 月

The Bulletin
of
Liberal Arts & Sciences
Nippon Medical School

No. 47, December 2018

目 次

- モンテカルロ法を使った席順決めと経路の再重み付けについて
藤崎弘士 … 1
- On a Monte Carlo method for seating arrangement and path
reweighting
Hiroshi FUJISAKI
- 認知症介護家族のための心理教育プログラム START
(STrAtegies for RelaTives) の紹介
樫村正美 … 15
- Introduction to a psychoeducational program “START” for family
caregivers with people living with dementia
Masami KASHIMURA
- 脱・講義型授業へー学習成果向上のための授業デザイン
カーク・スティーブン・西川純恵 … 31
- Moving Beyond Lecturing: Designing Classes to Improve Student
Learning Outcomes
Steven KIRK, Sumie NISHIKAWA

<研究ノート>

モンテカルロ法を使った席順決めと 経路の再重み付けについて

藤崎弘士*

On a Monte Carlo method for seating arrangement and path reweighting

Hiroshi FUJISAKI

1. はじめに

本稿では、二つの独立した話題について論じる。一つは学校の実験や小グループ学習 (small group learning, SGL) などにおいて、モンテカルロ法を用いてどのように席順を決めるかという問題、もう一つは全く異なる話題だが、経路の再重み付けを使ってレアイベントをサンプリングする問題である。

前者に関しては、著者の学内での実験実習において、そのようなアルゴリズムを開発する必要に駆られたことが執筆の動機である。よって、このパートは研究ノートというよりは教育ノートの意味合いが強い。後者は著者の研究に関わることである。レアイベント研究において、経路の重みを考えることが重要になるが、その再重み付けに関して自分で考えを整理したいと考えた。基本的に新しいことは含まれていないが、学部レベルでも理解できるような解説を試みている。またパスをサンプリングする問題 (パスサンプリング) も広義のモンテカルロ (Monte Carlo, MC) 法と考えることができるので、モンテカルロ法に関する二つの話題と考えてもらってもよい。そこで、モンテカルロ法に関する解説から始める。

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

(2)

2. モンテカルロ法 (Monte Carlo method)

磁石を用いたモンテカルロ法の説明は既に [1] で与えられている。また一般的な教科書の説明としては [2] などを参照。

ここではさらに簡略化した説明を試みる。 N 個の変数をもつ配置 (configuration) (x_1, x_2, \dots, x_N) を考える。これは何でもよく、例えばタンパク質を考えるなら、その原子の座標だと考えればよい。これをまとめて $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ と書こう。次に、この配置の関数 $E(\mathbf{x})$ を考える。これは物理的にはエネルギー関数であるが、エネルギー的なものであればなんでもよい。さらに以下のようなパラメータ T をもつ確率分布を考える。

$$P(\mathbf{x}) \propto \exp\{-E(\mathbf{x})/T\} \quad (1)$$

もし x_1, x_2, \dots, x_N が連続変数であるなら、ある事象が $x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_N + \Delta x_N$ の間に生起する確率は

$$P(\mathbf{x})\Delta x_1\Delta x_2\cdots\Delta x_N \quad (2)$$

で与えられるということである。これは「エネルギー」が高いものは指数関数的に実現しづらいということの意味する。実際、物理学の統計力学という分野では、ボルツマン分布がこの形をしており、 T は絶対温度になる [2]。

この分布を作り出すための一つの数値的な手法がモンテカルロ法 (Monte Carlo method) である [2]。そのためにはまずモンテカルロ (MC) ムーブというものを考える。これは仮想的な N 次元の動きであり、基本的には何でもよい (これが MC 法の強さにつながる)。例えば、ある配置 \mathbf{x}_α から \mathbf{x}_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、 $E_\alpha < E_\beta$ であれば確率

$$P_{\alpha \rightarrow \beta} = e^{(E_\alpha - E_\beta)/T} \quad (3)$$

で遷移させる。これだけのことで最終的に上の分布が得られることが分かっている [2]。式 (3) 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。ただし、 E_β があまりにも大きすぎると、その確率は指数関数的に小さい、つまり、リジェクトされてしまうので、いかに適切な MC ムーブを選ぶかというのは、実際問題としては重要である。これは後の再重み付けでも似た問題が現れる。

3. 席順決めの問題

学校における席順決めは教員や事務員にとって面倒な問題の一つである。もちろん一回切りであれば、あいうえお順に並べればよいだろう。しかし、例えば学期ごとに並べ方を変えたいとか、実験などで毎回席順を変えたいということがある。その場合のやりやすく、公平なやり方はくじ引きもしくはさいころによる決め方だろう。つまり、乱数を使うということであり、これはモンテカルロ法のもっとも素朴なバージョンと考えることができる。しかし、席順が完全にランダムになってしまうと困る場合も生じる。

例えば、実験の異なる項目のテーブルが12個あり、各テーブルに6人ずつ配置して、それを12回実施したい場合を考えよう。簡単のため学生が72人いると考える（それより少なくてもよい）。すると、これは72人に1から12の数字を割り振る問題になる。ただし、各テーブルが6人なので、正確には1,1,1,1,1,1, 2,2,2,2,2,2, … 12,12,12,12,12,12 を72人に割り振る問題である。

例えば、初回は72面体のさいころを振って（実際には数値的に1から72の整数の乱数を生成する）、1から72番目までの学生に1から12の数値を割り振っていけばよい。しかし、2回目ですべてをやりと、1回目と2回目と同じ実験を繰り返してしまう学生が発生する。学生は実験項目1から12を重複なく、12回で実施しなければならない。つまり、完全にランダムだと困るわけであり、ある制約条件 (**constraint**) のもとでランダムにならなければならない。

そこで次のように考えよう。学生は1から12の数字を持っているとする。これをランダムに組み替える (**permutation**) のである。つまり、適当に取りだした学生の数字の列が例えば以下のようにになっている。実際はこれが72行で並んでいる

3 9 5 12 1 8 11 2 4 6 7 10

わけである。しかし、これだと各列を取りだすと、テーブル数と勘定が合わなくなる。つまり、各テーブルに6人がいるべきところを、テーブルによっては7人以上、5人以下になってしまう。それではよくない。

そこで、 j 番目の列を見渡して、その項目が i である数を $C_j(i)$ としよう。これがきっかり6なら都合がいい。しかし、そう都合よくはいかないので、ここではエネルギー関数的に

$$\lambda(C_j(i) - 6)^2 \quad (4)$$

(4)

というものを導入しよう。 λ は適当な正の数である。実際はこれを i, j に関して和をとって、それをエネルギー関数とする。つまり、以下である。

$$E = \sum_{j=1}^{12} \sum_{i=1}^{12} \lambda (C_j(i) - 6)^2 \quad (5)$$

このエネルギーを用いて、以下のように計算を進めればよいということになる。

1. 例えば、初期配置として、すべての学生が 1,2, \dots , 12 という項目の配置をもつとする。
2. 1 番目の学生から順に、ランダムに 2 つの実験の順番を選んで、それぞれの項目を入れ替える。その入れ替えた列を j_1, j_2 としよう。
3. j_1, j_2 列目で、入れ替え前と後のエネルギー (5) を計算する。ただし、その際は j に関する和をする必要はない。 $\sum_i [(C_{j_1}(i) - 6)^2 + (C_{j_2}(i) - 6)^2]$ だけを考えればよい。
4. 3. のエネルギー差を使って、モンテカルロ法の判定を行う。これで入れ替えをアクセプトするか、リジェクトするか決める。これを 72 人目の学生まで繰り返す。
5. 2.-4. を収束するまで繰り返す。

例えば、 $\lambda = 3.0, T = 1.0$ としたときの計算の結果が図 1 である。これから 130 MC ステップくらいで、エネルギーが 0 になることが分かる。これはきっかり 0 になっているので、各テーブルに 6 人という制約は「確実に」満たされている。MC 法は乱数を使うので、こういう制約が満たされないように思ってしまうが、制約条件をエネルギー関数として課せば、ちゃんと制約を満たせるのである。最初に学生の配置を 1,2,3, \dots , 12 としてから、MC 法によって最終的に得られる配置の一例が図 2 である（もちろん、配置は乱数の生成の仕方によって変わるので、ユニークではない）。

他のやり方については、例えば以下を参照（「席順決め アルゴリズム」でググればよい）。これらもなかなか面白い。

<https://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/education/20150507.html> (巡回群)

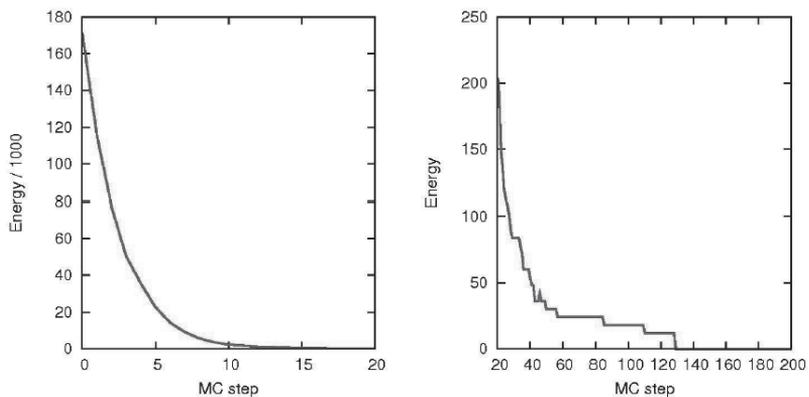


図 1: 席順決め問題における「エネルギー」の MC 法における推移。左図は初期の時間発展であり、指数関数的にエネルギーが小さくなっていることが分かる。右図は後期の時間発展。MC ステップが 130 あたりでエネルギーが 0 になる。

<http://www.jsise.org/taikai/2013/program/contents/pdf/G3-4.pdf> (遺伝的アルゴリズム)

<http://usi3.com/optimal-seat-allocation-at-banquet.html> (数理計画法)

また似た問題として、学会などのスケジューリングの問題がある。これに関しては工藤による解説 [3] を見よ。

4. パスサンプリングの再重み付けの問題

4.1. パスサンプリングの基本

この節では前節と全く異なる話題、パスサンプリングの問題を扱う。著者はこの話題に関していくつか解説を書いている [4] が、ここでは最低限必要なことをまとめる。

パスサンプリングで重要となるのは、なんらかの動力学によって生じた経路 (パス) に「重み」がついていると考えることである。このことを考える上で、もっとも分

(6)

```
12 7 3 8 9 4 2 10 1 11 5 6      1 3 2 12 6 10 7 9 11 4 8 5
 8 10 9 7 5 1 4 12 11 6 2 3      4 12 1 9 7 2 10 6 11 5 8 3
 7 3 12 5 8 6 4 1 2 9 11 10     10 5 11 12 8 3 9 7 2 4 1 6
 2 5 10 9 11 7 1 4 6 8 3 12     12 10 4 3 7 11 1 6 2 9 5 8
12 1 10 5 3 4 11 8 6 2 9 7      6 10 4 9 2 1 11 12 7 3 8 5
 9 6 12 8 1 2 5 4 3 10 11 7    8 7 1 3 6 9 12 11 10 5 4 2
11 8 10 6 5 7 12 2 3 1 9 4      3 10 9 7 12 11 8 2 1 5 6 4
 7 1 9 11 6 8 12 2 5 4 10 3     5 4 8 7 10 6 3 11 1 12 9 2
 4 3 8 2 9 10 6 12 5 11 1 7     11 9 5 6 4 2 10 7 8 3 12 1
10 5 3 11 4 12 8 9 1 7 2 6      11 9 2 4 3 6 5 12 8 7 1 10
11 3 4 9 2 12 10 7 6 1 8 5      8 4 6 1 7 10 11 3 12 5 2 9
 2 12 7 4 8 11 9 5 1 6 10 3     7 4 2 1 3 8 6 10 9 5 12 11
10 12 2 1 8 9 11 6 4 7 3 5      2 10 12 7 5 4 3 9 6 11 1 8
11 12 6 10 1 9 7 3 8 4 5 2      8 11 1 6 7 4 10 9 3 2 5 12
 5 7 8 3 4 11 10 9 2 1 6 12     6 1 8 12 4 2 7 10 11 5 9 3
10 8 11 1 6 3 4 12 9 7 5 2      6 1 11 7 4 5 2 8 3 12 10 9
 1 8 6 11 2 5 4 12 3 10 7 9      5 2 9 10 12 7 3 1 4 8 6 11
12 9 1 8 5 7 11 3 10 6 2 4      9 11 5 10 2 6 12 3 1 8 4 7
 4 8 10 11 1 12 2 5 9 3 6 7      3 2 4 12 11 10 9 5 7 1 6 8
 7 6 11 10 8 5 9 2 4 12 3 1     12 7 5 11 1 4 6 8 9 10 3 2
 8 12 7 4 10 1 9 5 6 11 3 2     1 11 5 6 7 3 8 4 2 9 10 12
 5 4 6 2 3 7 8 11 10 12 1 9      7 6 4 12 10 9 5 2 8 3 11 1
 9 3 8 2 5 1 12 10 6 11 7 4      1 7 9 2 3 6 4 8 12 10 5 11
 4 1 12 6 7 9 11 2 5 10 3 8      11 2 12 4 5 9 10 3 8 1 7 6
 5 6 8 7 11 2 3 1 4 9 12 10     2 9 11 5 10 12 6 4 8 7 1 3
 3 2 10 9 4 8 1 6 5 11 7 12      3 4 10 1 2 12 5 11 7 8 9 6
 5 11 7 8 9 12 2 3 4 10 6 1      4 10 7 9 8 5 3 1 12 6 2 11
10 3 5 8 12 4 9 6 7 2 11 1      8 9 3 5 2 1 12 7 10 6 11 4
 4 7 1 3 11 5 6 10 12 9 2 8      9 4 6 10 11 3 7 1 12 2 8 5
 6 5 11 2 1 3 8 7 9 4 12 10     10 11 7 3 6 1 2 5 12 9 8 4
 3 6 2 5 9 10 8 1 11 7 4 12     12 5 2 3 9 6 4 11 10 8 7 1
 3 1 9 8 10 5 7 4 11 2 12 6      1 11 5 4 12 8 2 6 7 3 9 10
 6 5 12 10 3 11 7 8 2 1 4 9      6 9 1 4 12 8 3 11 5 2 7 10
 7 8 6 1 9 2 5 10 3 12 4 11     1 2 4 5 11 3 6 8 7 12 10 9
 9 2 3 12 10 8 1 7 5 6 4 11      9 12 3 2 6 10 1 5 4 8 11 7
 2 8 7 6 12 11 1 4 9 3 10 5      2 6 3 11 1 7 5 9 10 4 12 8
```

図 2: ある乱数列によって生成された最終的な配置。エネルギーは0になっており、制約条件を満たす。72人の12回分の実験項目のスケジュールに対応する。

(7)

かりやすいダイナミクスとして、以下の強摩擦のランジュバン方程式 (overdamped Langevin equation) を考える。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F(x)}{\zeta} + \sqrt{2D}\eta(t) \quad (6)$$

ここで $F(x)$ は力、 ζ は摩擦定数、 D は拡散定数であり、 $D = k_B T / \zeta$ という関係がある²。 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度である。 $\eta(t)$ は $\langle \eta(t)\eta(0) \rangle = \delta(t)$ ($\delta(t)$ はディラックのデルタ関数) を満たすノイズ項である。これを数值的に解くために、最も簡単な Euler 法を使うと

$$x_{i+1} = x_i + \frac{F(x_i)}{\zeta} \Delta t + \sqrt{2D\Delta t} R_i \quad (7)$$

となる。ここで Δt は時間刻み、 R_i は平均 0 分散 1 の正規 (ガウス) 分布から引かれる乱数である。これによって $t = n\Delta t$ までのダイナミクスを生成すると、その確率は

$$\exp\left(-\sum_{i=1}^n \frac{R_i^2}{2}\right) \quad (8)$$

となる。これは上の式を R_i について解いて、

$$R_i = \frac{1}{\sqrt{2D\Delta t}} \left(x_{i+1} - x_i - \frac{F(x_i)}{\zeta} \Delta t \right) \quad (9)$$

として、これを代入してもよい。このときは以下の Onsager-Machlup 作用を定義して

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t} - \frac{F(x_i)}{\zeta} \right)^2 \frac{\Delta t}{2} \quad (10)$$

パスの重みは $\exp(-S/2D)$ となる。しかし、ここで注意しなければならないのは、これは R_1, R_2, \dots を確率変数としたときの重みであるということである。実際、われわれが観測するのは経路 x_1, x_2, \dots であるから、これらの変数で積分したと

*

²これは揺動散逸定理と呼ばれ、系が熱平衡状態になるために不可欠の条件である。

(8)

きに重みは規格化されていなければならない。これはファインマンの経路積分と同じ事情である。そのときの prefactor まで含めた重みは

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{(4\pi D \Delta t)^{n/2}} \exp\left(-\frac{S}{2D}\right) \quad (11)$$

となる [2]。この prefactor は自由な拡散の分布関数として出てくるものの n 乗である。

ダイナミクスが変わればこの重みの表式は変わるが（例えば、弱摩擦 (underdamped) のランジュバン方程式のときなど）、基本的な考えは同じである。よって、この重みに基づいて様々な工夫をすることができる。パスの重みに温度レプリカ交換法やハミルトニアンレプリカ交換法を適用した論文としては [5, 6] を参照。

4.2. レアイベント

以下ではレアイベント (rare event) を考える。その生物学的な意義などに関しては [7] を参照。まず簡単なモデル系を調べたいので、以下の2つの安定な状態をもつ、1次元ポテンシャル関数を考えよう (図3)。

$$V(x) = E_b(x^2 - 1)^2 \quad (12)$$

これは2重井戸ポテンシャルと呼ばれることもあり、 $x = \pm 1$ のところが準安定な状態である。また $x = 0$ のところにバリアがあり、ここを遷移状態 (transition state) と呼ぶ。このポテンシャル関数から力を計算すると、

$$F(x) = -\frac{dV(x)}{dx} = -4E_b(x^3 - x) \quad (13)$$

となる。これから式 (7) を使ってシミュレーションすることができる。初期値を $x = -1$ としよう。すると、いま興味があるのは、どのように山 (遷移状態) を越えるかということである。ここで温度が低く、 $k_B T < E_b$ となっている状況を考える。これは典型的なレアイベントの状況であり、シミュレーションを行っても、軌道はまれにしか山を乗り越えない。もし遷移状態を乗り越えるレートのみに興味がある場合は、Kramers の式 [8] を使えばよい。しかし、遷移状態を乗り越えるパスに興味があるとすると、途中の配置がどうなっているかということも知りたい。しかし、この状況だと遷移状態付近の配置はボルツマン分布で考えても指数関数的に小さい確率しか持たない。よって、遷移状態を細かく調べるためには、初期の配置において指数関数的に多く粒子を用意しなければならない。しかし、それを行うのは全く実際的ではない。

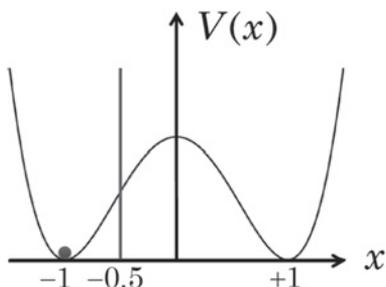


図 3: 2重井戸ポテンシャル関数。

4.3. 力にバイアスかける、もしくは温度を上げる

そこで系を「いじる」ことを考えよう。一つのやり方はバイアスかけることである。つまりダイナミクスを以下のように変える。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F(x) + F_{\text{ext}}(x)}{\zeta} + \sqrt{2D}\eta(t) \quad (14)$$

バイアス力 $F_{\text{ext}}(x)$ によって、系がターゲットの状態に向かいやすくなれば、遷移が加速される。

もしくは系の温度を上げる。温度は D に比例するパラメータとして入っているので、それを $D' > D$ と変えてみる。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F(x)}{\zeta} + \sqrt{2D'}\eta(t) \quad (15)$$

これによっても山を越える確率は増えるので、遷移が加速される。これは、高温で集団座標に対する運動を行わせる、temperature accelerated molecular dynamics (TAMD) [9] と同じ理屈である。

これらの修正されたダイナミクスを使えば、山を乗り越える軌道を作り出すことは容易になる。しかし、それらはもちろん元のダイナミクスとは異なる。そこで、それを補正するために、パスの重みを活用しよう。

(10)

4.4. パスの再重み付け

遷移が容易におこるような修正されたダイナミクスを実行した後に、元のダイナミクスに近づくために重みをかけよう。これがパスの再重み付け (**path reweighting**) である。これについては [10] で簡単に触れているが、ここでは上の 2 つの例で具体的に考えてみよう。

4.4.1. バイアス力の場合

まずバイアス力のほうだが、それがかかっているときの OM 作用を S_2 とし、元の OM 作用を S_1 としよう。すると、

$$S_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t} - \frac{F(x_i)}{\zeta} \right)^2 \frac{\Delta t}{2} \quad (16)$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t} - \frac{F(x_i) + F_{\text{ext}}(x_i)}{\zeta} \right)^2 \frac{\Delta t}{2} \quad (17)$$

である。バイアス力をかけてシミュレーションは行い、それを補正することを考えると、そのためには

$$\frac{\exp(-S_1/2D)}{\exp(-S_2/2D)} = \exp(-\Delta S/2D) \quad (18)$$

$$\Delta S = \sum_i \frac{F_{\text{ext}}(x_i)}{\zeta} \left[\frac{F_{\text{ext}}(x_i)}{\zeta} + 2\sqrt{\frac{2D}{\Delta t}} R_i \right] \frac{\Delta t}{2} \quad (19)$$

という重みをさらにかければよい（このときは温度は変えないので prefactor は同じであり、キャンセルする）。これがバイアス力の場合の、パスの再重み付け因子である。

4.4.2. 温度差をつける場合

温度を高くしているときの作用を S_2 、元の温度の作用を S_1 とする。このとき、それぞれの拡散定数は D_2, D_1 である。シミュレーションは高温のときに行っており、それを使って作用 S_1, S_2 を計算すると、

$$S_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t} - \frac{F(x_i)}{\zeta} \right)^2 \frac{\Delta t}{2} \quad (20)$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t} - \frac{F(x_i)}{\zeta} \right)^2 \frac{\Delta t}{2} \quad (21)$$

となって、 S_1 と S_2 は同じになってしまう。では何が異なるかという、パスの重みの指数の肩の部分と、もう一つは **prefactor** の部分である (式 (11) を見よ)。このときにパスの重みの比を計算すると、

$$\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{n/2} \frac{\exp(-S_1/2D_1)}{\exp(-S_2/2D_2)} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{n/2} \exp\left(-\frac{D_2 - D_1}{2D_1} \sum_i R_i^2\right) \quad (22)$$

となる。これが温度差をつけるときのパスの再重み付け因子である。

4.5. パスの再重み付けの数値例

では式 (12) のポテンシャル関数で、具体的にパスの再重み付けを実行してみよう。初期配置は $x = -1$ であり、系のサンプルを 10000 個用意する。

4.5.1. バイアス力をかける場合

系のパラメータは $E_b = 4.0, k_B T = 1.0, \zeta = 3.0, \Delta t = 0.003, n = 333$ とする。トータルの時間は $t = 1.0$ である。このときはバイアス力として $F_{\text{ext}} = 3.0$ という定数の力を考えよう。よって、ポテンシャル関数の山は下がるので、山を超えやすくなるはずである。

実際計算してみると、 $t = 1.0$ において $x > 0$ となる確率 $P(x > 0, t = 1.0)$ は brute force で $P_{\text{bf}} = 142/10000$, バイアス力をかけると $P_{\text{bias}} = 1284/10000$, 再重み付けをした後は $P_{\text{rw}} = 148/10000$ となった。よって、バイアスをかけることで確率は 10 倍近くになるが、それが再重み付けで適正に補正される ($P_{\text{bf}} \simeq P_{\text{rw}}$) ことが分かる。

4.5.2. 温度差をつける場合

系のパラメータは $E_b = 7.0, k_B T = 1.0, \zeta = 3.0, \Delta t = 0.003, n = 33$ とする。トータルの時間は $t = 0.1$ である。このとき温度を $k_B T' = 1.9$ と上げて計算し、 $t = 0.1$ において $x > -0.5$ となる確率 $P(x > -0.5, t = 0.1)$ は brute force で $P_{\text{bf}} = 18/10000$, 温度を上げると $P_{\text{temp}} = 198/10000$, 再重み付けをした後は $P_{\text{rw}} = 18/10000$ となった。よってこの場合も、温度差をつけることで確率は 10 倍近くになるが、それが再重み付けで適正に補正される ($P_{\text{bf}} \simeq P_{\text{rw}}$) ことが分かる。

5. パスの再重み付けに関する展望

パスの再重み付けに関しては、最近いくつか論文が出ている [11, 12, 13]。どの場合もレイアウトをいかに効率よくサンプリングできるかという問題を考えており、再重み付けが原理的には work することが示されている。

(12)

しかし、問題点もある。もっとも問題なのはこれが低次元系、短時間のダイナミクスにしか使えないということだろう。式 (18), (22) を見れば分かるように、時間が増える、つまり n が大きくなると、これらの因子は指数関数的に小さく（もしくは大きく）になってしまう。また、自由度が大きければ、それらについての和も計算に含まれるので、ますます小さく（大きく）なる。

次元性の問題に関しては、なんらかの意味で低次元空間のダイナミクスを見るか、もしくはパスの再重み付けの際に高次元空間の効果がキャンセルするような状況を考えればよい。前者に関しては、temperature accelerated molecular dynamics (TAMD) [9] を考えると、これは低次元の高温のダイナミクスなので、上の温度差をつける場合で対応できるだろう。もしくは、multiscale enhanced sampling (MSES) のパス版 [6] を考えれば、粗視化されたパスと詳細なパスの誤差が重みに入ってくるので、これは粗視化モデルの自由度でスケールされることになる。また、重み付きアンサンブル (weighted ensemble) 法 [14] では、配置に重みがついているが、これを加速させるときに上のアイデアを使ってもいいかもしれない。

時間の問題に関しては難しいが、上の重み付きアンサンブル法やマイルストーン法のように集団座標空間を区切る方法で対処するのが一つのやり方だろう。そうすれば時間をある程度区切ることになるので、短時間のダイナミクスを追えばよいことになる。

謝辞 古田忠臣氏（東京工業大学）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] 藤崎弘士, 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, 日本医科大学基礎科学紀要, **45**, 29–50 (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] 工藤和恵, 学会プログラム編成の半自動化を反強磁性ポッツ模型で実現, 日本物理学会誌, **73**(4), 227–229 (2018).
- [4] 藤崎弘士, 分子系に対するパスサンプリングについて, 分子シミュレーション研究会会誌:アンサンブル, **16**(1), 8-15 (2014).

- [5] H. Fujisaki, M. Shiga, A. Kidera, Onsager-Machlup action-based path sampling and its combination with replica exchange for diffusive and multiple pathways, *J. Chem. Phys.* **132**, 134101 (2010).
- [6] H. Fujisaki, M. Shiga, K. Moritsugu, A. Kidera, Multiscale enhanced path sampling based on the Onsager-Machlup action: application to a model polymer, *J. Chem. Phys.* **139**, 054117 (2013).
- [7] 藤崎弘士, 生体分子におけるレアイベントの探求, *生物物理* **57**(1), 40–41 (2017).
- [8] 藤崎弘士, 分子系における遷移・反応レートの計算法について I, *分子シミュレーション研究会会誌:アンサンブル*, **17**(1), 55–61 (2015).
- [9] L. Maragliano, E. Vanden-Eijnden, A Temperature Accelerated Method for Sampling Free Energy and Determining Reaction Pathways in Rare Events Simulations, *Chem. Phys. Lett.* **426**, 168–175 (2006).
- [10] 藤崎弘士, 生体分子におけるレアイベントサンプリング : Onsager-Machlup 作用を用いた計算法, *数理解析研究所講究録*, **2028**, 38–48 (2017).
- [11] L. Donati, C. Hartmann, B.G. Keller, Girsanov reweighting for path ensembles and Markov state models, *J. Chem. Phys.* **146**, 244112 (2017).
- [12] G. Grazioli, I. Andricioaei, Advances in milestoning. I. Enhanced sampling via wind-assisted reweighted milestoning (WARM), *J. Chem. Phys.* **149**, 084103 (2018).
- [13] S. Takayanagi, Y. Iba, Backward Simulation of Stochastic Process using a Time Reverse Monte Carlo method, arXiv:1708.08045.
- [14] H. Fujisaki, K. Moritsugu, A. Mitsutake, H. Suetani, Conformational change of a biomolecule studied by the weighted ensemble method: Use of the diffusion map method to extract reaction coordinates, *J. Chem. Phys.* **149**, 134112 (2018).

(受付日 平成 30 年 9 月 30 日)

(受理日 平成 30 年 9 月 30 日)

〈研究ノート〉

認知症介護家族のための心理教育プログラム START (STrAtegies for RelaTives) の紹介

檜村正美¹・川西智也²・山下真里³・川島義高⁴・
石渡明子⁵・館野周⁶・野村俊明^{1,3}

Introduction to a psychoeducational program “START” for family
caregivers with people living with dementia

Masami KASHIMURA¹, Tomoya KAWANISHI², Mari YAMASHITA³,
Yoshitaka KAWASHIMA⁴, Akiko ISHIWATA⁵,
Amane TATENO⁶, Toshiaki NOMURA^{1,3}

1. はじめに

平成30年版高齢社会白書によれば、わが国の総人口に占める65歳以上人口の割合は27.7%に達しており（内閣府，2018）、世界に前例のない速さで高齢化が進んでいる。この急速な高齢化、そして世界的にもトップクラスの長寿国である日本が抱える問題のひとつに、認知症が挙げられる。高齢化に伴い、認知症有病者数は増加の一途を辿っており、2012年時点では全国におよそ462万人と推計

¹ 日本医科大学医療心理学教室 Department of Medical Psychology, Nippon Medical School

² 鳴門教育大学大学院学校教育研究科 Graduate School of Education, Naruto University of Education

³ 武蔵小杉病院街ぐるみ認知症相談センター *Nippon Medical School Musashi Kosugi Hospital Dementia Centre*

⁴ 国立精神・神経医療研究センター) Department of Neuropsychopharmacology, National Centre of Neurology and Psychiatry

⁵ 日本医科大学大学院医学研究科神経内科学分野) *Department of Neurological Science, Graduate School of Medicine, Nippon Medical School*

⁶ 日本医科大学精神医学教室) *Department of Neuropsychiatry, Nippon Medical School*

されている。さらに、この増加傾向は今後も続く見通しであり、2025年には700万人に及ぶとされている（厚生労働省, 2015）。

わが国の認知症に関する国家戦略として、2015年に厚生労働省から発表された「新オレンジプラン」がある（厚生労働省, 2015）。このプランでは、認知症の普及・啓発にとどまらず、予防、治療や支援のための具体的な対策を行うことを急務とする7つの指針が提言されている。またそのなかで、「認知症の人の介護者への支援」「認知症の人やその家族の視点の重視」など、認知症の人本人に加えて家族の視点を重視しながら支援を行う必要性が示されている。実際、認知症は本人だけの問題ではなく、その家族にも大きな影響をもたらす。特にわが国では、認知症の家族成員の主たる介護者となるのは配偶者やその子ども、孫、親族など家族が中心であり、介護保険制度の導入によって介護の社会化が推し進められている現在においても、その傾向はさほど変わっていない。

認知症の家族成員を介護する家族（以降、認知症介護家族）には、介護によって心身にネガティブな影響が及んでいることが様々な先行研究によって明らかにされている（e.g. Schulz et al., 1995; Schulz & Beach, 1999）。しかし、多くの医療従事者の関心は認知症の患者に集まり、診察に同席する家族には目が向きにくいと筆者らは考える。介護家族には介護の質に影響しうるような健康状態の悪化がみられており、介護家族は見えない患者であるといえる（Adelman et al., 2014）。

こうした社会的状況に対して、認知症介護家族の抱える介護ストレスや介護負担の軽減のため、個別または集団形式の心理社会的な介入プログラムが欧州や米国を中心に開発されてきている。その多くは、介護家族に認知症や介護ストレスに関する正しい知識・情報を提供し、日常生活における困りごとの対処を学習し、練習を行うことで介護家族の抱えるストレスを自身でマネジメントできることを目指す心理教育的なプログラムである（櫻村, 2018）。海外では介入プログラムの効果が実証され、続々と報告されている一方、わが国では認知症介護家族を対象とした介入プログラムの開発と効果の実証的な検討が圧倒的に不足している。そこで本稿では、英国で開発され、介護家族のストレスや介護負担の改善、軽減が実証された介入プログラムである“STrAtegies for RelaTives（以降、START）”の概要を紹介する。そして、試験的に実施した一事例の要約を報告し、STARTプログラムの課題や今後の展望について述べる（日本語版STARTを以降、START-Jと表記する）。

2. プログラムの特徴

START はマニュアルベースの構造化された介入プログラムであり、8回のセッションで構成される(表1)。原則としてセッション1から順に進める。つまり、実施する回数、期間、時間の設定、そして取り組む内容が定められている。プログラムの実施者用と参加者用にそれぞれマニュアルテキストが用意されており、テキストを用いながらセッションを進める¹。参加者がテキストを予習すべきかどうかについては、事前に読んでおいた方が当然進行はスムーズになるが、介護家族の多忙さや参加へのモチベーションの程度は様々であるため、必ずしも予習を強いる必要はない。予習をしない参加者がいることを踏まえ、実施者は話題として取り上げるべき重要な箇所を事前に絞るなどの準備が必要である。各セッションの実施時間はおよそ60～90分と幅があるが、実施状況に応じてさらに長く、もしくは短くもできる。各セッションには毎回異なるリラクゼーション法が紹介されており、セッション内で実施者と一緒に練習を行う。各セッションでは、前回のホームワーク²の振り返り、新しいセッション内容の紹介、新しいリラクゼーション法の紹介と練習、次回までのホームワークの確認という流れで進行する。

Livingston et al. (2013) のランダム化比較試験によれば、認知症の人の主たる介護者である家族173名(女性約67%、配偶者：子：その他=3:3:1)を対象に10～14週の期間でSTARTを実施した結果、対照群(通常サービス群)と比較してSTART介入群では不安や抑うつ症状、生活の質などに有意な改善がみられた。START介入群において、全8セッションを完遂した割合は全体のおよそ7割であった。介入による効果は8ヵ月後のフォローアップ時にも持続しており、さらにはその介入終了後から24ヵ月後の長期フォローアップでも気分の改善効果が持続していた(Livingston et al., 2014)。費用対効果の面でも、通常治療と比べてSTARTの実施は優れていることも示されている(Knapp et al., 2013; Livingston et al., 2013, 2014)。英国において、STARTは認知症介護家族

¹ START-Jマニュアルは、日本医科大学医療心理学教室の教室紹介ページにてダウンロードが可能である(現在ver.3.0)。ワークシートに使いにくさを感じた場合、無理して使う必要はなく、各自で使いやすいように修正したものを使用することもできる(https://www.nms.ac.jp/college/schoolroom/kisokagaku/shinrigaku/_9152.html)。

² セッション内で話し合ったことを参加者の体験を通して確認してもらう作業のこと。頭で理解するだけでなく、実際の生活の中で学んだスキルを実践し、効果を検証することが重要である。

を対象とした有効で費用対効果の優れた介入プログラムとして評価されており、臨床心理士やアドミラルナース（認知症専門看護師）を対象としたトレーニングコースが頻回に開催されるなど、プログラムの普及が図られている（Lord et al., 2017）。

以下、START-Jの各セッションについて概説する。

	タイトル	内容	リラクゼーション	ホームワーク
セッション1	ストレスと健康について	本プログラムの目的、概要説明、物忘れや介護者のストレスに関する情報提供を行う。日常生活で起こっている出来事と、感情とのつながりを理解する。個人の目標を設定する。	呼吸法 (シグナルブレス)	困りごとの同定 出来事と気分のつながり
セッション2	行動の理由	認知症の家族がする、困った行動の理由を考える。その行動が出現する状況や、その結果について家族と話し合う。	呼吸法 (フオーカスブレス)	家族の行動記録 (状況・行動・反応)
セッション3	行動計画を立てる	ホームワーク結果に基づき、引き金と反応で変えられそうなる要因がないかどうかを家族と検討する。家族がいつもと異なる行動パターンとは異なるパターンに挑戦してみる。	フィジカル グラウンディング	引き金、いつもの行動パターン を変え、(引き金・行動・反応)
セッション4	行動戦略と考えの見直し	新たに標的とする困った行動の同定、戦略の見直し、考えと気持ちのつながりを理解し、見方を変えたと気分が変わることを学ぶ。	イメージ法 (草原と川の風景)	行動パターンの見直し 考え直しの練習
セッション5	コミュニケーションの パターン	受身的、攻撃的、アサーティブの3種類のパターンの紹介。相手に上手に物事を伝える方法、物忘れのある方とのコミュニケーションのコツを学ぶ。	瞑想	アサーティブな伝え方
セッション6	将来に向けた計画	公的サービスなど、家族が利用可能な社会資源に関する情報提供、ソーシャルサポートの探索。一人で抱え込まないことの重要性を説明する。	イメージ法 (海の見える風景)	テキストの復習 家族との話し合い
セッション7	楽しい活動と気分の関係	気持ちと行動のつながりを理解する。介護中心の生活ではなく、介護家族が楽しめる活動、認知症の家族と一緒に楽しむ活動などを同定し、挑戦する。	ストレッチ	行動実験 楽しめる活動に取り組み
セッション8	これからもスキルを 使い続けるために	これまでのセッションの振り返り。できているところ、できていないところの同定、これから予想される困難を話し合う。	イメージ法 (山小屋の風景)	振り返り・スキルの継続

(注) 櫻村 (2018) から抜粋

3. プログラム内容

セッション1 ストレスと健康について

プログラムの全体構造を簡単に紹介し、プログラムの目的と内容について説明する。セッションごとに用意されているホームワークについて説明を行い、ホームワークの目的や実施の重要性について話し合い、参加者の反応をうかがいながらモチベーションの評価を行う。初回では、認知症や介護ストレス、そして感情と行動のつながりに関する心理教育を行う。また、参加者が問題視する認知症の人の行動や症状、あるいは参加者自身が抱える問題をリスト化し、8回のうちに取り組みべき課題を大まかに定め、目標設定を行う。マニュアルの情報量も多いため、すべて読み上げながら進めるよりも、介護家族の生活の様子を確認しながら、話の流れに沿ってポイントを絞ってマニュアルの内容に触れるとよい。ここで記入する問題のリストについては、後のセッションでいくらかでも追加することが可能である。現在生じている問題のうち、何をどうしたいと望んでいるのか、参加者のニーズを明らかにするためのセッションでもあり、現時点における参加者のプログラムに対するモチベーションの程度を評価しておきたい。

セッション1で行うリラクゼーションは、“シグナルブレス”と呼ばれる呼吸法と筋弛緩法を組み合わせたものである。ゆっくり息を吸いながら体の部分(手、腕、脚、肩、顔の順番で)の筋肉を緊張させ、ゆっくり息を吐き出す際に筋肉の緊張も緩めるという方法である。次回のセッションまでに毎日少なくとも一回は練習し、シグナルブレスの効果を検証する。

セッション1のホームワークは、認知症の家族が示す行動によって生じる参加者の感情の記録(行動の記録)と、シグナルブレスの練習である。

セッション2 行動の理由

前回のホームワークを振り返った後、「引き金-行動-反応」の連鎖を紹介し、マニュアルに掲載された事例や参加者の実際のエピソードを用いながら、人間の行動原理について学ぶ。認知症の家族が示す行動には、引き金となるきっかけや出来事が先行して存在しており、それによって引き起こされる。その家族の行動に対して周囲の人は何かしらの反応をしていることが多い。例えば、認知症の人が同じことを繰り返し聞いてくることに対して、怒りで反応する介護家族は口論を激化させてしまうかもしれない。また、認知症の人が不安を解消しようと示す安全行動に介護家族が毎回応じてしまい、安全行動が強化されている可能性も考

えられる。参加者が現在困っている認知症の人の行動を詳細にみていくと、特定の時間や場所、状況でその行動が生じているというパターンが見えてくる。また、認知症の人が示す行動に、参加者である介護家族が普段どのように反応しているかについても、いつも繰り返されるパターンが見えてくる。セッション2では、そうした一連の流れに変化を起こすことではなく、あくまで観察に主眼が置かれる。

セッション2の最後では、新しい呼吸法である“フォーカスブレス”を紹介する。この呼吸法はゆったりとした呼吸に意識を集中させ、呼吸のプロセス（息を吸う、鼻を通る息をどう感じるか、吸われた息が肺やお腹を膨らませる感じはどうか、息を吐く際に膨らんだ肺やお腹が萎む感じはどうかなど）を味わう。呼吸以外のことは考えずに呼吸に注意を集中させる様子は、いわば気逸らしの一種であるともいえる。不快にさせられるような出来事にばかり目を向けるのではなく、自分の身に今生じている呼吸の流れに注意を集中させることで、不快な事象から注意が逸れ、気持ちの切り替えを図ることができる。

セッション2のホームワークは、自宅で起こっている行動の一連の流れについて、マニュアルにある「行動の記録シート」を用いて記録すること、そしてフォーカスブレスの練習である。行動のパターンの発見については、セッション3の冒頭に実施者と一緒に行ってもよい。

セッション3 行動計画を立てる

前回のホームワークの振り返りから開始し、行動の観察結果を確認する。そしてセッション3では、参加者が変えたいと思う認知症の家族あるいは参加者自身の行動を特定し、引き続き「引き金－行動－反応」の連鎖に基づき、認知症の人の行動に対する介護家族の反応が、当該行動を持続もしくは悪化させてしまっているという循環の可能性を検討する。引き金を変えるために可能な環境調整には何があるか、あるいは介護家族が普段と異なる反応パターンをすとしたら何ができそうかなどを話し合う。例えば、口論は介護家族が認知症の人の行動を批判することで生じているかもしれない。また、認知症の人の困った行動は特定の時間と場所で生じ、介護家族の先回り行動によって持続しているかもしれない。こうした検討に加え、認知症の人の行動を直接変えることは難しいが、引き金（環境調整の試み）と介護家族の反応（異なる対応へのチャレンジ）は直接変えられること、そして認知症の人の望ましい行動は強化して望ましくない行動は強化しないことについて、心理教育を行う。

セッション3では、新しいリラクゼーション法であるフィジカル・グラウンディングを紹介する。この方法では、導入の際にリラックス状態を作り、その後手や足の感覚をじっくり味わう。足の指先の感覚に意識を向けたり、自分の座っている椅子や目の前にあるテーブルの材質を手で味わったりすることで、参加者の意識を今現在の体験に集中させる。

最後に、前回の行動記録に加え、いつもと異なる反応をすることで結果がどうなるかについて、マニュアルの「行動記録表」に記録すること、そしてフィジカル・グラウンディングを1日1回練習することをホームワークにする。フィジカル・グラウンディングに違和感ややりにくさを覚える参加者は少なくない。このリラクゼーション法に固執する必要はなく、これまでに紹介した呼吸法の練習を継続しても構わない。

セッション4 行動戦略と考えの見直し

セッションの冒頭で、前回のホームワークからうまくできたこと、できなかったことなどを振り返り、今回新たに取り組めそうな、困っている家族の行動を挙げ、引き金もしくは反応の変化の試みについて話し合う。その話し合いを終えた後、セッション4の新しい内容である「考え方の見直し」について紹介する。不快な気持ちが生じるのは、不快な気持ちにさせる出来事が起こったからだけではなく、その出来事への考え方や評価から生じていることを伝える。これに基づく、例えば夫が言うことを聞かないことに妻が腹を立てるのは、「夫はわざと私を無視する」と状況を解釈するためであると理解することができる。この「状況－考え－気持ち」の連鎖で参加者自身が経験した出来事を捉え、その時の考えを違った考えで捉え直すことによって、その後の気分はどう変わるかについて話し合う。説明の仕方によっては、「あなたの考え方がおかしい」という非難のニュアンスを与えてしまいかねないため、注意を要する。あくまで、自分の視点だけで物事を捉えるのではなく、相手あるいは他者の視点で考えてみるとどう違って見えるか、結論を急がずに自分の考えを「本当にそうなのだろうか？」と疑いの目で見るようにしてみると、自分の考えや気持ちはどう変わりうるのかについて、丁寧に話し合う必要がある。

セッション4では新たなリラクゼーション法である、草原と川のイメージ法が紹介される。きれいな草原が広がる中を歩く自分をイメージし、草原を流れる川に1枚の大きな葉っぱが自分に向けて流れてくる。その葉に自分の嫌なこと、困っていることを載せ、川に流す。見えなくなるまで見送り、イメージから現実に戻

るという一連の流れで行う。イメージ法は一種のタイムアウトのようなものであり、苦しい現実からの一時的な離脱を意図している。また、川に流すという比喻は、不快な事象にとらわれないようにすることをねらいとしている。

最後に、考えの見直しを記録する「思考記録」のワークシートへの記入、そしてイメージ法を1日1回練習することをセッション4のホームワークとする。また、マニュアルにはセッション3で使用した「行動記録表」のワークシートも掲載されており、必要に応じて新たに取り組む行動パターンがあれば、それを記録してもらうことも追加する。

セッション5 コミュニケーションのパターン

最初に前回のホームワークである思考記録（あれば行動記録も）を振り返る。セッション5では、受身的、攻撃的、アサーティブ³の3種類のコミュニケーションパターンを紹介する。コミュニケーションとは、本来双方の努力や意識の変化によって改善しうるものである。だが、相手が認知症の人である場合、相手に変化を求めるのは非常に難しいため、介護家族の側に工夫が求められる。普段、介護家族がどのようなコミュニケーションパターンを取りがちであるか、アサーティブなコミュニケーションを築くにはどうしたらよいかについて話し合う。また、物忘れのある人に配慮したコミュニケーション上の工夫についても情報提供を行う。

セッション5のリラクセーションでは、瞑想法を紹介する。最初にリラックスした状態を作り出し、「私は心穏やかだ」、「私の腕は重く、あたたかい」などの自己教示を行う。心地よいイメージにさまざまな体の感覚を組み合わせる。

最後に、家族を含め他者とのコミュニケーションで工夫したことを「コミュニケーション記録表」に記録すること（必要に応じて行動記録、思考記録を追加する）、そして1日1回瞑想法の練習、もしくはこれまで練習したリラクセーション法を行うことをホームワークとする。セッション5の最後では、次回のセッション6の内容を予習してくるよう参加者に求める。また、必要であれば他の家族をセッションに招いても構わないことを伝える。

セッション6 将来に向けた計画

このセッションは、介護の選択肢に関する情報提供が中心となる。介護生活を支える福祉サービスや制度に関して情報提供を行うとともに、福祉サービスを利

³ アサーティブとは、他者だけでなく自分も尊重した上で自分の伝えたいことを他者に伝える方法のこと。アサーションともいう。

用することへの抵抗、他の家族と介護について話し合う機会を持つことへの抵抗、自分の身に何かあった場合にどうしたらよいか、認知症の家族がこの先判断能力が乏しくなった際にどうすれば良いかなどのテーマについて話し合う。これらの話を通じて、普段から一人で介護を背負いすぎているか、他者に頼ることに強い抵抗を持っていないかなど、参加者の考え、思いを確認する。今後必要となるサービスの利用に向け、介護家族と話し合う機会を設けるのがセッション6である。このセッションは、福祉サービスに関する情報提供が中心であるため、プログラム実施者の専門性によっては、マニュアルに記載されている内容以上のことはわからない場合もある。わが国では、介護に関する地域の主たる相談窓口は地域包括支援センター（以降、包括）であるため、実施者は参加者の居住地域担当の包括を把握しておき、必要に応じて参加者に包括を紹介することや、包括との連携の上でより詳細な情報を提供することも可能である。実施者は無理せずに参加者からの質問に対してわからないことがあれば正直に伝え、次回のセッションで回答してもよい。まだ包括につながっていない参加者であれば、ホームワークとして包括に一度電話してみることを提案してもよいかもしれない。

セッション6のリラクゼーション法は、海のイメージ法を紹介する。気持ちのよい海の光景をイメージしてもらいながら、浜辺でゆったりと過ごすイメージを通してリラクセスを図る。セッションの最後にホームワークを提示する際、参加者の状況に合わせてこれまでの行動記録、思考記録、コミュニケーション記録などを紹介するが、ホームワークを実施する時間がない場合には、セッション6の復習を優先するように伝える。

セッション7 楽しい活動と気分の関係

感情と行動とのつながりを紹介するセッションであり、楽しい出来事と気分の関係について心理教育を行う。認知症介護家族は、認知症の進行ステージに左右されるものの、基本的には介護中心の生活を送りがちである。軽度であっても認知症の家族が気になって、以前よりも気軽に外出できないと訴える介護家族は少なくない。このセッションでは行動活性化と呼ばれる手法を参考に、普段の生活で気軽に取り組みそうな楽しい活動を計画する。活動内容として、一人で楽しむことと、家族と一緒に楽しむことの2種類をブレインストーミングによって案出する。最初は介護家族の提案するアイデアを評価せずに聴取し、十分出尽くしたところで、気軽さ、簡易さ、継続性など実現可能性の観点から、いくつかの活動に絞っていく。例えば、旅行は家族にとっての効果的な気晴らしになりうるもの

の、すぐの実施できるものではない。そこで、旅行の計画を立てる、興味のある国や土地の情報収集を行う、旅行代理店を覗いてみるなど、より実現可能な活動に落とし込む。取り上げる活動は些細なものでも構わない。ホームワークでは、計画を実際に実行できたかどうかの観点から、各活動に1～9点の点数をつけ、楽しかった活動は何か、家族と一緒にやる活動は楽しめたかどうかを、セッション8の冒頭で振り返る。

セッション7の最後にストレッチ法を紹介する。通常、ストレッチは自分の体の健康のために行われると認識されがちだが、気晴らしや気逸らしの手段としても有効である。

セッション8 これからもスキルを使い続けるために

最終セッションでは、これまでの学びを振り返り、何が役に立ったか、もう少し練習が必要なスキルは何か、これから先に起こりそうなストレスイベントには何があるか、その時にはどうすればよいかについて話し合う。

セッション8では、雪山の山小屋のイメージ法を紹介する。最終セッションであるため、紹介する新しいイメージ法を日常生活で実施してみた感想を聞くことができない。これまで紹介した複数のリラクゼーションはすべて行うことに意味があるわけではなく、参加者が好む方法を見つけ、それを中心に練習するだけでも十分である。効果的なリラクゼーション法は参加者によって異なるため、一通り紹介する必要がある。

4. プログラムの試験的实施

筆者らはSTARTの開発者であるLivingston博士の承諾を得た上でマニュアルを翻訳し、これまで医療機関の外来、および地域支援の現場でプログラムの実施を試みてきた。ここでは、START-Jの一事例を紹介する(Kashimura et al., 2018)。なお、本事例については筆者が所属する機関の研究倫理委員会で承認を得た上で行われた研究の一部であり、本事例の発表にあたり口頭と文面で趣旨説明を行い、研究参加者から同意を得た。参加者は軽度のアルツハイマー型認知症の母親を介護する娘Aであり、強い介護負担感や気分の悪化がみられていた。Aの母親の主治医から、Aの訴えを受けて院内の臨床心理士に紹介された。

母親の介護を理由に仕事を退職せざるを得ず、介護中心の生活となったAは、次第に交友関係も乏しくなり、母親と過ごす時間が生活のほとんどを占めるようになっていた。熱心に介護をしながらも、母親に対する怒りや憎しみの感情が湧

いてきたり、時に強い物言いで当たってしまったりと、かなり行き詰まった介護状況であることがうかがえた。また、このような介護の問題は誰にも相談できていなかった。そこで、臨床心理士は A に START-J を紹介し、参加の同意を得た。

プログラムを通して、A と母親が口論に発展しやすい行動パターンを分析し、関わり方の修正を行った。A からみた母親の問題行動のパターンを同定し、A の普段の反応の仕方を変え、母親による問題行動の引き金となっていた環境を調整することで、母親の行動修正を試みた結果、当該行動が軽減または消失したことが報告された（セッション 2～3）。その後のセッションでは、物事をネガティブに捉えすぎてしまう A の考え方の癖を特定し、考え直しの練習を図り（セッション 4）、ホームワークの結果から考え直しによって気分が少しずつ改善されてきたことが A から報告された。また、A は普段から介護について一人で抱えこみ、親族とも話し合うことができていなかった。そこで、相談できずにいた親族に働きかけてみようかと決意し、アサーティブなコミュニケーションの工夫をしたり（セッション 5）、他者に相談したり公共のサービスを頼ることについての A 自身の抵抗感などを話し合う時間を設けた（セッション 6）。A 自身のストレス管理として、A がやりたいことや挑戦してみたいことを探索し、実際にやってみることを提案した（セッション 7）。セッションの経過とともに、A の介護負担感や気分、生活の質は徐々に改善されていき、プログラム終了後から 12 ヶ月が経過した時点でも、A の気分や介護負担感、生活の質はほとんど維持されていた。また、プログラムの実施中に有害事象は発生せず、終了するまで安全にプログラムを実施することができた。事例 A の結果から、START-J のわが国での実施可能性を示すことができたといえる。

5. START-J を実施した上での課題

START-J の実施にあたって検討すべき点として、実施者、実施場所、運用方法、そして多様な参加者のモチベーションへの対処などが挙げられる。START-J の実施者については、心理学的なアプローチに精通した臨床心理士などの心理職によって実施されることが望ましいものの、わが国では高齢者の生活を支援する心理領域の実践活動は乏しいことが指摘されている（日本学術会議, 2011）。Livingston et al. (2013) では、START の実施者は臨床心理士のような専門性の高い者だけでなく、臨床経験のない心理学を専攻する大学院生に START に関する教育と研修を行うことで人材を養成している。START は認知行動療

法 (Cognitive Behavioral Therapy, 以下 CBT) に基づいたプログラムであるが、CBT を原理主義的に遂行するプログラムではない。CBT とは、人間の情緒が認知のあり方 (受け取り方や考え方) の影響を強く受けることに注目して、認知や行動に働きかけて心を軽くしたり、問題解決を手助けしたりする構造化された精神療法 (心理療法) である (大野, 2014)。CBT の理解と実施の経験は、START のプログラムの理解やスムーズな進行に役立つ。だが、START の実施にあたっては CBT の経験を必須の条件とする必要はないだろう。また実施場所については、英国では主に介護家族の自宅で行うアウトリーチ型の支援が展開されているのに対し、わが国では START のような心理社会的な介入プログラムを介護家族の自宅に訪問して実施する環境が整っていない。そのため、当面は医療機関の外来、あるいは包括や民間団体などの協力を得てそれら施設内の一室を借りて実施したり、地域の公共スペースを借りて実施するのが現実的であろう。なお、START-J の導入にあたっては、実施者および参加者の双方がプログラムを安全に実施できることを第一に考えなければならない。

参加者のモチベーションは、プログラムへの参加に意欲的な人から消極的な人、アンビバレントな態度を示す人など多様であることが予想される。参加者のモチベーションが低い場合、ホームワークへの取り組みも消極的となりやすい。さらに、認知症の介護家族はその生活の多忙さからホームワークに取り組む時間の確保自体が難しい場合もある。CBT では、参加者はホームワークを通してセッション中に学んだことを実生活の中で体験し、考え直しや行動の修正などのスキルを習得することを目指すため、ホームワークの実施は介入の効果を左右する重要な要因である。CBT においてホームワークを実施しない理由については、参加者がホームワークの意義や目的を理解していない場合、そしてホームワークそのものが難しすぎる点が挙げられている (大野, 2014)。ホームワークの導入や説明を丁寧に行うだけでなく、参加者の考えを伺いながら事前に対応策を考える必要もある。しかし、厳密にホームワークを実施しようとすることで参加者のモチベーションを下げってしまう恐れもあるため、ホームワークを実施していない場合には、次のセッションの冒頭でこれまでの生活を振り返りながら、その場で一緒にホームワークを取り扱うような柔軟さも必要という意見もある (Livingston や Rapaport との私信による)。START は構造化されたプログラムではあるものの、実施状況に応じた柔軟な運用にも開かれている。

ホームワークだけでなく、セッション数も START-J の実施上の障害となりう

る。筆者らは START-J を隔週に一度のペースで進行するため、8セッション完遂までにおよそ4ヶ月の期間を要する。Livingston et al.(2013)の報告でも、全セッション完遂率は全体の約70%であり、5セッション以下しか実施できなかったケースは約27%にも及ぶ。8回という回数に固執せず、参加者の生活状況やニーズに合わせて実施可能なセッションを選択する工夫も可能かもしれない。幸い、START-Jの各セッションはほぼ独立していることもあり、介護家族との心理面接過程の中でSTART-Jの必要なセッションのみを取り上げて介護家族の支援に活かす可能性もある(櫻村他, 2018)。しかし、柔軟すぎる運用によってプログラムの効果が薄れる恐れも十分考えられる。STARTの実施に慣れるまでは、プログラムのマニュアルに沿った進行を心がけながら経験を重ね、実施者の経験に基づく判断で少しずつ現場に適した形に変容させていくとよいかもしれない。

6. 今後の展望

先述の通り、STARTは認知症の介護家族の介護負担感やメンタルヘルスの改善に有効かつ費用対効果に優れた心理社会的な介入プログラムである。START-Jは未だ事例検討のレベルに留まっており、わが国での有効性の検討が待たれる。また、STARTは本来アウトリーチ支援が可能な環境において実施されているプログラムであり、わが国の心理職がアウトリーチの手段を持たない現状で、どのような場面でSTART-Jを活用することができるかについて検討していく必要がある。プログラム実施の環境が異なることによって、介入の効果に違いが生ずるのか、またセッションの回数や脱落率などの面接構造の違いについて、英国での研究結果との比較を試みたいと考えている。

さらに、近年遠隔医療が発展し、インターネットやスマートフォンなどの活用により、直接会わなくとも遠隔地から患者やその家族を支援できる枠組みが誕生しつつある。こうした通信技術を活用する方法では、利用可能な人がかなり限られるという限界はあるものの、うまく活用することによって場所を選ばず支援を行うことができるようになり、支援の対象の拡大が期待できる。オンライン技術を利用できないとしても、電話通信を利用した介入は実現可能性が高いといえる。実際、近年は電話を用いた心理学的介入が利用者のメンタルヘルスの改善に寄与することが報告されてきている(e.g. Furukawa et al., 2012)。認知症の介護家族は、認知症の家族がデイサービスへの通所などで不在の時によりやく自分の身

の周りのことができたり、家事その他を済ませたりと、とにかく多忙である。プログラムの実施場所まで足を運ぶ時間を割くことさえ難しい介護家族も少なくない。このため、今後は遠隔的な START-J の実施可能性についても検討していきたいと考えている。

最後に、START-J の実施者について、わが国において認知症支援の中心的な役割を果たしている地域の看護師や福祉領域の専門職によって実施可能なプログラムづくりを検討する価値があると考えている。わが国では認知症の医療や支援の中心は医療機関から地域へとシフトしてきているものの、地域支援の現場における心理職の活動は他の職種に比べて未だ広がりを見せていない。それにもかかわらず、START-J の実施を心理職に限ることは、妥当とはいえないだろう。START は確かに構造化されたマニュアルベースのプログラムとして完結しているものだが、その運用方法についてはさまざまな工夫の余地を有している。今後は START-J のわが国での有効性や安全性、費用対効果を明らかにしつつ、支援の現場に適した柔軟な運用方法やプログラム普及の方法についても検討していきたいと考えている。

参考文献

- [1] Adelman RD, Tmanova LL, Delgado D et al. Caregiver burden: a clinical review. *JAMA*, 2014; 311: 1052-60.
- [2] Furukawa TA, Horikoshi M, Kawakami N et al. Telephone cognitive-behavioral therapy for subthreshold depression and presenteeism in workplace: a randomized controlled trial. *PLoS One*, 2012; 7: e35330. doi: 10.1371/journal.pone.0035330.
- [3] 樫村正美 認知症と家族支援 (特集 福祉分野に生かす個と家族を支える実践). *家族心理学年報*. 2018; 36: 95-104.
- [4] 樫村正美・川西智也・野村俊明・辻正純・管谷由紀子 外来における認知症介護家族のための START プログラムの試みープログラムの分解、必要セッションのみの実施に意味はあるかー 第8回日本認知症予防学会学術集会抄録集, 189.
- [5] Kashimura M, Nomura T, Ishiwata A, Kitamura S. Feasibility of applying the psychosocial intervention STRategies for Relatives to family caregivers of patients with dementia: a case report. *Psychogeriatrics*, 2018; 18: 235-238. <https://doi.org/10.1111/psyg.12315>.
- [6] Knapp M, King D, Romeo R, Schehl B, Barber J, Griffin M, Rapaport P, Livingston D, Mummery C, Walker Z, Hoe J, Sampson EL, Cooper C, Livingston G. Cost effectiveness of a manual based coping strategy programme in promoting the

- mental health of family carers of people with dementia (the START (STrAtegies for RelaTives) study): a pragmatic randomised controlled trial. *BMJ*. 2013; 347: f6342 doi: 10.1136/bmj.f6342.
- [7] 厚生労働省 2015 認知症施策推進総合戦略（新オレンジプラン）～認知症高齢者等にやさしい地域づくりに向けて～（概要） https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12300000-Roukenkyoku/nop1-2_3.pdf
- [8] Livingston G, Barber J, Rapaport P, Knapp M, Griffin M, King D, Romeo R, Livingston D, Mummery C, Walker Z, Hoe J, Cooper C. Long-term clinical and cost-effectiveness of psychological intervention for family carers of people with dementia: a single-blind, randomised, controlled trial. *Lancet Psychiatry*. 2014; 1(7): 539-548.
- [9] Livingston G, Barber J, Rapaport P, Knapp M, Griffin M, King D, Livingston D, Mummery C, Walker Z, Hoe J, Sampson EL, Cooper C. Clinical effectiveness of a manual based coping strategy programme (START, STrAtegies for RelaTives) in promoting the mental health of carers of family members with dementia: pragmatic randomised controlled trial. *BMJ*, 2013; 347: f6276.
- [10] Lord K, Rapaport P, Cooper C, Livingston G. Disseminating START: training clinical psychologists and admiral nurses as trainers in a psychosocial intervention for carers of people with dementia' s depressive and anxiety symptoms. *BMJ Open*. 2017; 7: e017759. doi:10.1136/bmjopen-2017-017759.
- [11] 内閣府 2018 平成 30 年度版高齢社会白書（全体版） http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/zenbun/30pdf_index.html
- [12] 日本学術会議 2011 提言：地域で暮らす高齢者を支援する専門職の連携教育に向けて健康・生活科学委員会高齢者の健康分科会 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t133-2.pdf>
- [13] 大野 裕 うつ病と認知行動療法入門－日常診療に役立つうつ病の知識－ 総合病院精神医学. 2014; 26: 239-244.
- [14] Schulz R, O' Brien AT, Bookwala J, Fleissner K. Psychiatric and physical morbidity effects of dementia caregiving: prevalence, correlated, and causes. *Gerontologist*. 1995; 35: 771-791.
- [15] Schulz R, Beach SR. Caregiving as a risk factor for mortality: The caregiver health effects study. *JAMA*. 1999; 282: 2215-9.
- [16] Battelli M. G., Bolognesi A. and Polito L. Pathophysiology of circulating xanthine oxidoreductase: new emerging roles for a multi-tasking enzyme. *Biochim Biophys Acta*. 2014; 1842: 1502-1517.

（受付日 2018 年 9 月 30 日）

（受理日 2018 年 10 月 30 日）

〈解説〉

脱・講義型授業へ—学習成果向上のための 授業デザイン

カーク・スティーブン*・西川純恵*

Moving Beyond Lecturing: Designing Classes to Improve Student
Learning Outcomes

Steven KIRK, Sumie NISHIKAWA

1. はじめに

米国のSTEM (science, technology, engineering, mathematics) 教育、すなわち科学・技術・工学・数学分野における教育においては、大学レベルにおいても¹⁻³、高等学校・中等学校レベルにおいても⁴、この20年間に渡り伝統的な講義型授業から離れる傾向が顕著になっている。近年では、バーモント大学・ラーナー・メディカル・カレッジ (the Larner Medical College at the University of Vermont、米国バーモント州) がすべての授業形態を講義形式からアクティブ・ラーニング方式へと移行させると表明したことがニュースとなった^{5,6}。講義の評判はなぜ低下するようになったのだろうか。

昨今主流のアクティブ・ラーニング方式の先駆者たちは当初、担当授業の教育効果上の問題を解決したいという理由から講義に代えてこの方式を導入したわけであるが、新方式授業の拡大に伴い進展した研究成果により、講義形式が学習の定着・保持に効果的手法ではないことは明らかになっている。Freemanら⁷は科学・数学・工学分野において、アクティブ・ラーニング方式と伝統的講義形式による学習成果を比較した225の研究事例のメタ分析を行った。それによると学習成果のうち、試験結果についてはアクティブ・ラーニング型授業でスコアが平均6%上昇し、コースの不合格者数については講義形式授業で1.5倍高い数値を

* 日本医科大学・外国語教室

示した。これらの結果は確かなもので出版バイアスなどのためではないとしている。結論として彼らは、これらの研究が医療介入・治療のためのランダム化試験であったとしたら、介入行為（アクティブ・ラーニング型）の方が明らかに有効であるので、患者を対照群に割り付けることは中止されるであろうと述べている。

アクティブ・ラーニング方式では講義形式と異なり、学習者が受動的に情報を受け取るというよりも、授業でアクティビティーやディスカッションに（多くは少人数グループで）取り組むことにより、自ら知の構築プロセスに関与できるというのが特徴である。講義形式は新しい情報を学生に提示する上では重要な手法の一つであり、アクティブ・ラーニング型授業においてもなお重要な手立ての一つではあるが、それに当てる時間は授業内では最小限に留められることが多い。むしろ授業時間は、学生間や学生・教員間のやり取りのための活動に費やされる。筆者（Kirk）の学生時代を振り返ってみても、講義で扱われるのは教科書で指定された範囲であり、（自分も含めて）多くの学生が教科書を自前で読むか授業に出るかのどちらかであり両方ではなかった。加えて現代のテクノロジーにより講義がビデオ化されオンライン上で視聴できるとなれば、授業時間内にビデオと同じ内容の講義を繰り返す理由は見当たらない。米国のメディカル・スクールでは、授業に出席せず試験前に何らかの方法で試験勉強をする学生が多いようであるが、スタンフォード大学（Stanford University、米国カリフォルニア州）のあるコースでビデオ講義と出席自由のインタラクティブ型授業へと変更したところ、出席率が20%から90%に上昇した事例がある²。

教員が用いる教授法というのは自らが受けた教育に基づくものであることが多く、多くの理数系・医学系教員にとってはそれが講義形式であったということになる。さらには、教員となった者の多くは既存の講義形式制度を成功裏に乗り切っている場合が多く、それゆえ自分達が受けた教育手法にプラスのイメージを持つことが多い。また、高水準の授業をしているという自負を有する場合も多いであろうし、実際その授業が学生から人気が高い場合も多いかもしれない。しかしながらそれでもなお、講義形式による効果の程度を変えることにはならないようなのである。バーモント大学医学部長ウィリアム・ジェフリーズ（William Jeffries）は医療行為に例えてこう述べている。「仮に、昔ながらの方法による虫垂切除術が、それが自分の好みに合うからという理由で好きだとして、自分にはそれをうまくやれる技術もあり、でも患者にとってはそれが最良の方法ではなかったとしたら、あなたならその旧方式を使いますか」⁶と。そうは言うものの、

アクティブ・ラーニング型授業の体験や、その指導法を正式に学んだ経験を持つ教員は多くないのが実情であろう。

本稿は、学生の学習成果向上につながる手法を、いかにして従来型の講義形式授業に導入していけるかについて実践的な提案をすることを主眼としている。取り上げる三つの手法は、授業内の講義を段階を追って、学生の学習効果を高めるとされる活動に徐々に置き換えていくものである。一つ目は、毎回の授業で系統的な確認テストを実施するもので、それ以外は講義形式のままの形態である。二つ目はピア・インストラクション (peer instruction) で、学生のディスカッション活動に応える形で短時間の講義を含む。三つ目は反転授業 (flipped classroom) で、そこでは講義に代え、授業時間を学生が課題に取り組むための場とするものである。

2. 毎回の授業での確認テスト

従来型講義形式よりも高い学習成果を得る手法の一つが、相応の重要度の（可否には直結しないが成績には反映されるというような）テストを頻繁に授業で実施する、というものである。学生は試験前に詰め込み学習をする傾向があるが、研究では、試験で高得点を取得できたとしても、詰め込み学習では学習内容が長期に保持されにくいばかりか、多大なストレスを招くと示されている⁸。記憶と学習に関する研究に立脚した三原則を用いることで、学生は学ぶ力を向上させ、新規学習内容を長期間保持することができる⁸。これら三原則に沿って学習すれば、試験前に詰め込み学習をする必要がなくなるのである。

第一の原則は、記憶から情報を引き出そうとする「想起練習」が学びの契機となる、というものである。「想起練習」(retrieval practice) は、情報を思い出そうとする行為のことで、テストで解答しようとする際に行うのはこれに相当する。学生はテスト前に復習のつもりで教科書にマーカーを引いたりして読み直しをするものである。教科書を繰り返し読むことでその文章に見慣れてくると、あたかもその内容を理解したかのように思い込むことになる。わかりやすいと思って講義を聞いていると、やはりその内容を理解したかのような錯覚に陥ってしまうが、後になって必要な時にそれを思い出そうとするとできないこともある。記憶を保持するには、自分がそれを覚えているかをテストし、記憶できていなかったものを再度学び直す必要がある。この方法で勉強するとフラストレーションを

感じることもあるだろうが、曖昧になりかけの記憶を呼び出そうと苦勞することが、記憶を堅固なものにしていくことが示されている⁸。

第二の原則は、時間を空けて行う「間隔練習」の方が、一気にを行う「集中練習」よりも効果が高いというものである。「集中練習」(massed practice)というのは、一度に長い時間をかけて反復練習を行うこと意味している。「間隔練習」(spaced practice)というのはいったん学習した後に、その記憶が薄れる頃まで間隔をあけて再度学習することを言う。端的な例を挙げると、100も200もある計算問題を一晩のうちに立て続けに行うことは集中練習に当たる。間隔練習であれば、まず短めの学習時間の中で問題に取り組んだ後、日にちを空けてまた短時間問題をやり、その後もある程度の間隔を空けつつその都度短時間の学習を行うことを継続していく。学習の間隔は、数分のこともあれば数時間から数日ということもある。学習する内容や忘れやすさの度合いに依る。ある程度時間を経てなかなか思い出せず苦戦するがそれでも思い出せる、というのが理想的な頃合いであろう。思い出そうとして苦戦するほど、より長く記憶を保持できる⁹。例えば外国語学習で新しい単語を覚えたい時には、覚えようとしたその日の内にもう一度復習する必要があるが、物理の問題であれば種類によっては数日おいて復習するという場合もあるだろう。厄介なことに、集中練習の方がそれをやっている時点においてはより知識が身に付いたかのように学習者が錯覚してしまいがちであるのだが、大量の集中練習で得たものは長期には保持されない。一方間隔練習では、勉強したことを思い出すが難しくなるのもどかしく思えることもあるだろう。

第三の原則は、種類の異なるものに取り組む「交互練習」の方が、同種のものに取り組む「ブロック練習」よりも得られる学習効果が高いというものである。「ブロック練習」(blocked practice)は一度に種類のことを練習するのに対し、「交互練習」(mixed practice)では一回の練習の中でテーマや形式の異なるものを混ぜて問題に取り組む。Rohrer and Taylor¹⁰の論考では、大学生を対象に複雑な形状を持つ四種の立体の体積の計算を学習させている。実験に参加した大学生のうち一つのグループは、四種の問題に対して種類ごとにまとめて練習問題に取り組む(ブロック練習群)、もう一方は種類の異なる問題を取り混ぜた形で練習を行った(交互練習群)。練習段階ではブロック練習群、交互練習群の正答率の平均はそれぞれ89%、60%であったが、一週間後の最終試験での正答率はそれぞれ20%、63%であった。一度に種類のことを練習することはその直後には良い結果が得られるが、長期的には交互練習の方がはるかに効果が高いと言え

る。

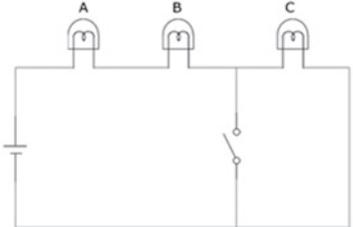
これら三原則は、学生が自分の勉強のために使うべき手法である。しかし、記憶や学習に関する研究論文を読んだことのある学生は稀であろうから、これらの原則に沿う形で教員が授業を組み立てていけば、学生の学びを手助けすることにつながると言えよう。もっともたやすい形でこれら三原則を講義型授業に組み入れるための方法は、短時間の確認テストを頻繁に実施することであろう。この場合のテストとは、学生の真剣な取り組みを促すためにも最終成績に反映される程度の重要度を持つべきだが、間違えた問題からも学べるよう過度な精神的負担とならないようなものとすべきものである。またテストの項目には、少し前の範囲からのものを含めたり（想起練習）、それまでに扱った異なるテーマの問題を取り混ぜたりすること（交互練習）も肝要である。そして授業の開講期間全体に渡っての想起練習となるように頻繁にテストを行うべきである。毎回の授業で短いテストを実施することで最大の効果を発揮できると示されている¹¹。テスト後は、学生が間違えたところを分かる形にし、理解が不十分だったところに対処できるようにすべきである。正答率が低かった問題は間隔を空けて再度出題しても良い。間隔学習の見地からは、最初から正答率が高かった問題であっても、ある時点で復習の対象とすべきではある。

3. ピア・インストラクション (Peer Instruction)

学習成果向上に寄与する他の手法として挙げられるのが、ハーバード大学の物理学者エリック・マズール (Eric Mazur) により考案されたピア・インストラクション¹である。これは、より深いレベルでの学生の授業参加を目的として、クリッカーや ConcepTest と呼ばれる概念理解をみる問題を用いて行うアクティブ・ラーニング型授業の一形態で、既習事項の確認、理解度や誤認識のチェックのためなどに活用される。彼がこの手法を開発する発端となったのが、物理学基礎クラスを専攻外の学生に教えていたところ、学生は試験の成績は良いのに講義で説明した概念を真に理解しているわけではないと気付いたところにあった。学生たちは、基盤となる概念を理解するというよりもむしろ、問題を解くための「レシピ」を覚える傾向にあることに気付いたという。例えば図1は概念理解をみる問題、図2は計算問題であるわけだが、学生の平均点を見ると図1の問題の方が、大方の物理学者が難易度が上だと評するであろう図2の問題より低いという

(36)

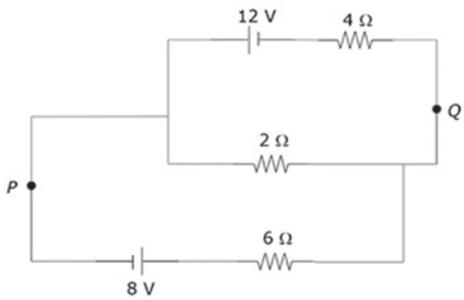
3つの同一の電球が次のように電池に接続された回路がある。スイッチを閉じた時、次のそれぞれの値は上昇する、下降する、変わらない、のいずれであるか。



(a) 電球A、および電球Bの明るさ
(b) 電球Cの明るさ
(c) 電池から出る電流
(d) それぞれの電球の両端の電圧
(e) 回路の消費電力

図1 Mazur¹による概念型問題の例

次の回路において、(a) 2Ω の抵抗を流れる電流、および (b) PQ間の電位差を求めよ。



(a) 2Ω の抵抗を流れる電流、および (b) PQ間の電位差を求めよ。

図2 Mazur¹による計算問題の例

のだ。ピア・インストラクションは、この事態を是正するために開発されたものなのである。

ピア・インストラクションの「ピア」とは、お互いに教え合うクラスメートのことを指している。その原理は、ある事柄を理解したばかりの方が、それがごく簡単で自明のことに思えてしまう教員よりも、別の初心者によく説明できることが多いというものだ。ピア・インストラクション方式では、図3に示すような概念理解をみる問題（マズールはこれを ConcepTest と命名）が学生に示される。学生はまず一分間自分で考えクリッカーを用いて解答し、教員の手元には解答状況の集計が示される。その結果を学生に示してもよいが、この時点では正答は示さないでおく。次に、席が近い学生間で自分の答えが正しいことを説得し合うように促し、数分のディスカッションの時間を取る。正しい考え方に基づいて正答を導いている学生であれば大抵は相手に説明することができ、正答に至っていない相手のつまずきを修正することができる。ディスカッション時間終了後は、再度クリッカーにより解答してもらい、教員はどの程度の割合の学生が理解に達したかを確認する。最後に正答を示し、学生の正答状況によっては少々講義の時間をとって解説しても良い。ディスカッションの最中には、教員は学生グループの様子をいくつか見て回り、当該トピックについて学生が何らかの疑問点や誤認識に陥っていないか直に感触を得るようにすべきであろう。

2つの同一のコップに同じ高さの水が入っている。1つのコップには氷が浮かんでいる。この時重いのはどちらか。

- 1) 氷が入っていないコップ
- 2) 氷が入っている方のコップ
- 3) 2つとも重さは同じ

図3 Mazur¹による概念型問題の例

マズールによれば、最初の集計で正答率40～80%の問題がこのピア・インストラクション方式に最適で、理由はその位の割合の学生が正しく答えを導けていれば、他のクラスメートに教えるのに十分な数になるからだと言う。正答率が40%を下回るようであれば、直ちに講義へと進めても良い。正答率が80%を超えるならすぐに正答を示して次のトピックに移れば良い。次学期（次年度）には

易しい問題は外すなり、難しい問題は修正または削除するなりしていけばよい。

マズールの方式(図4)では、授業時間の約3分の1を概念理解をみる問題(ConcepTest)に割り、よってそれまで講義形式で授業を行っていた時に扱っていた内容すべてを講義する時間は取れなくなる。しかしながら教員の側は、クリッカーの集計結果に示される学生の理解度を見ることで、学生にとって難しい内容に授業時間を費やすことができ、学生が教科書を読んで自分で容易に学べる内容は授業に含めないようにしていくことができる。マズールは、授業で明示的に扱われる内容に限らず教科書の範囲はすべて学ぶ必要があると学生に周知しておくことを推奨している。また、試験には概念理解をみる(図1のような)タイプの問題も実際に含めるようにして、学生が授業中のアクティブ・ラーニング用問題に真剣に取り組む環境を整えることも不可欠であると述べている。

実際このピア・インストラクション方式を導入するに当たって教員は、これまで行っていた講義からトピックを取り出し、それらに基づくConcepTest型の問題を作成することが必要となる。その際重要なのが、計算問題や知識の有無を問うような問題ではなく、考え方や概念理解を問うタイプのものとし、学生たちが自分達の答えを互いに説明し合えるようにすることである。トピックによって適当な選択肢を思うようにそろえられない場合は、自由記述問題として学生に答えを書いてもらっても良いだろう。その中に何か共通して誤答や誤認識が見られればそれらを活用させてもらいその後選択問題形式にバージョン・アップさせていくことも可能だ。

マズール自身は、学生からの解答をクリッカーによる集計に委ねているが、クリッカーがなければ他にも方法はある。簡単などころでは、カードや紙に記号や番号を書いて配布しておき、それを掲げて自分の答えを示してもらうこともできる。あるいはNearpodなどのパソコンやスマートフォン用ソフトウェアを利用する方法もある。Nearpodはウェブ上で使える授業向けソフトウェアで、パワーポイントのようなスタイルで問題作成ができる。授業ごとに教員側でパソコンやスマートフォンを用いて1つのセッションを開始させると、学生側でログインできるようになる仕組みだ。教員が問題を選択すると、それが学生側のデバイスに送られて表示される。問題の種類として選択式、自由記述のいずれも可能で、手書きのイラストまで含めることができる。

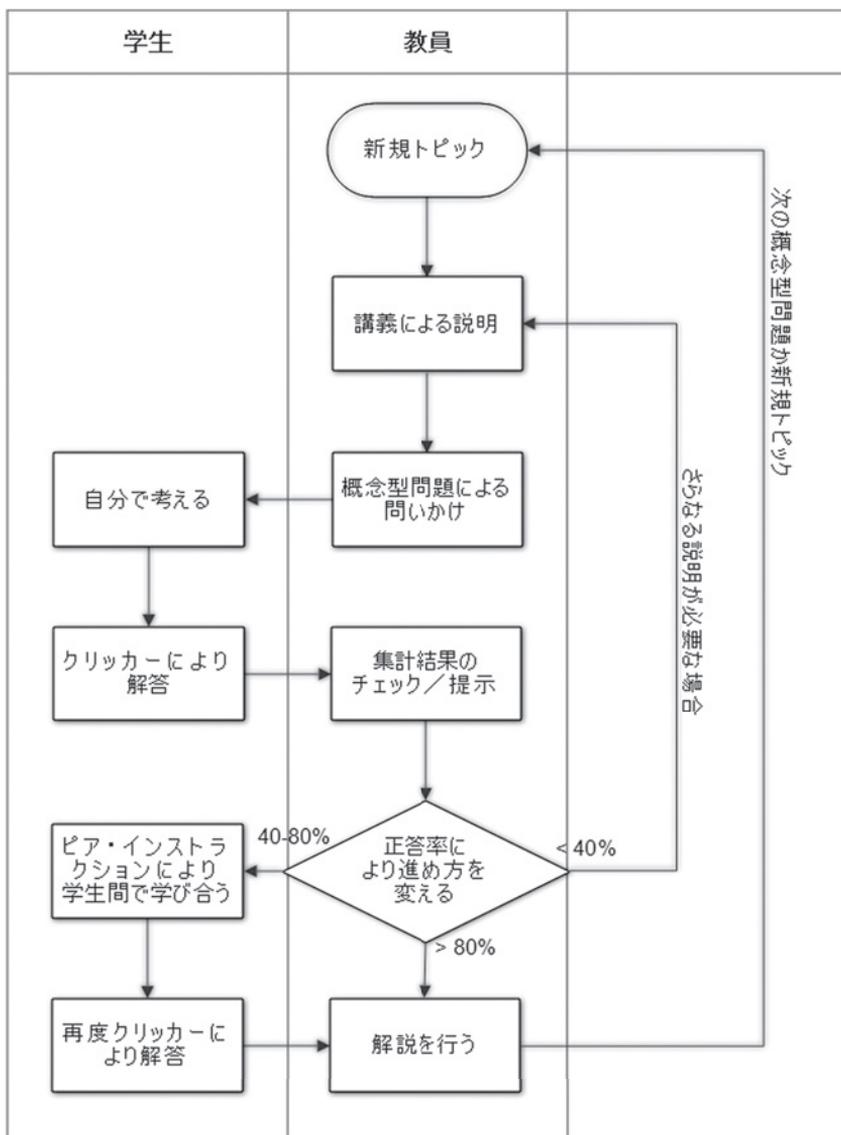


図4 ピア・インストラクションの流れ

4. 反転授業 (Flipped classroom)

反転授業は、授業の場で学生をサポートする活動により多くの時間を費やしたい教員のために開発された手法である。筆者 (Kirk) が担当した科学論文の書き方指導の場合も、授業時間すべてをライティングの個別指導に当てられるようにしたいという思いから、一連のビデオ講義を作成するに至ったという経緯がある。講義型授業であると、教師から最も注目されるのは教室の最前列に座って質問をしてくる極めて優秀な学生であることが多い。反転授業を行う教員たちは、講義を授業外に移すことで、その科目でよりサポートを必要とする学生により多くの時間を費やせるようになる^{4,12}。

反転授業の「反転」(flip)とは、授業で行うことと家で行うことを入れ替えるものである(図5参照)。伝統的な教室の場では、講義という形式を通して新規教材が学生に提示される。家庭では講義で学んだことを用いて練習問題に取り組み、理科や数学の授業で典型的にそうであるように、計算問題を解くタイプの宿題が出ることになる。反転授業の形態では、学生は家でビデオ講義や教科書を用いて新規教材を学習する。授業ではその知識を用いて練習問題に取り組む。この活動は一人で行うこともできるが、ペア・ワークやグループ・ワークとして行えば、言わばピア・インストラクションと同様に、学生は協働して問題解決に当たることで互いに学び合うことができる。協働しても解決できない問題があれば、教員がその場で速やかに手助けをし、疑問点に答える。反転授業の教室には騒々しさがつきもので、グループで話し合っている学生の間を教員が歩いて回っては、その作業の進み具合をチェックしたり、話し合いに耳を傾けたり、必要があれば

	新規知識の学び方	知識の定着方法
従来型の講義	 教室で 教員によるライブ講義により学習	 家で 練習問題を解く
反転授業	 家で事前に ビデオや教科書により学習	 教室で 練習問題を解く

図5 反転授業と従来型の講義形式授業の比較

フィードバックしたりする。

実際反転授業を導入するにあたっては、授業で扱っていた中で何を授業外に移し、代わりにどんな活動を授業時間内に行うかの判断が必要となる。通常は講義分を授業外に移し、その内容を教科書やビデオ講義により学習してもらい、授業時間は、事前学習で得た知識を活用したり応用したりするような課題、とりわけその場でクラスメートや教員から手助けやフィードバックを得られることで解決できるような、難易度の高い課題に取り組んでもらう場とする。多くの場合、授業内活動はおそらく問題を解くことが中心になるであろうから、こうした問題を解く課題においても、間隔学習や交互練習の原則を取り入れることが可能である。反転授業のクラスでは、教室を回って学生のグループ学習を手助けできるように教員がその場で応じる必要があるため、学生数のあまり多くない授業に取り入れ易いであろう。

反転授業の導入当初、もし学習内容を教科書ですべてまかなってもらわないとなると、最も大変で時間を要するのがビデオ教材の作成である。方法としては、これまで授業で行なっていたような講義を単純に録画する方法もあるのだが、学生が好むのはトピックを1つに絞った短めのものである。またCamtasiaなどのソフトウェアを用いればスクリーンキャスト（パソコン画面の録画）を作成することができ、パワーポイントのスライド等を映したパソコン画面の動画に音声を録音して、YouTubeなどの動画サイトにビデオ教材としてアップロードできる。スクリーンキャストにちょっとしたアニメーションを加えれば、従来型講義よりも分かりやすくコンパクトでまとまったビデオになる。というのも講義では教員は板書に時間を取られ、板書しながら素早く他の視覚教材をあれこれ切り替えて使う訳にはいかないからである。筆者（Kirk）の経験では、授業だと説明に30分要する内容を、スクリーンキャストなら10分に収めることができる。加えて、ビデオ教材であれば学生はよく理解できなかった内容を繰り返して聞いたり、後日復習したい場合に見直したりすることができ、実際多くの学生がそうした利用方法を用いていることが報告されている¹³。ビデオ教材に求められるのは、それが通常講義の録画ビデオにせよ、スクリーンキャストにせよ、その出来映えのクオリティである。スタンフォード大学メディカル・スクールの事例では、ベストと評されたビデオは教授陣の作によるものではなく、むしろ学生たちが自作し（教授によるチェックを受け）た短いものであったという。

5. 授業への事前準備の指示

前述した三つの手法はいずれも、学生が教科書やビデオ教材により事前学習することが前提となっている。それは授業を効果的なものとするために不可欠であるが、最初は難しさもあるだろう。学生とは、悪名高くも授業の予習をしないものであるし、反転授業未経験の学生であれば、ビデオを見ていなければ授業についていけないとは気づかないかもしれない。一般的に従来型の講義形式授業では、学生が予習なしに授業に臨んでも何ら不利益を被ることはなく、講義で教科書と同じ内容が扱われるなら、それは予習なり講義なりをさぼるきっかけを作っているというものである。アクティブ・ラーニング型授業では、授業で行うのは事前学習で得た知識を深めたり強固なものにしたりするための活動であるので、学生側もいったんこの授業形態を理解したなら、それがきわめて有用な方式であると認識してくれることであろう。けれどもこれらの手法は互いに教え合うことが前提となっているので、学生側に事前準備がないと、授業での活動は急ブレーキがかかれたかの如く機能停止の事態となってしまう。

もっとも手軽に事前学習への動機づけをするなら、教材に関する何らかの小テストを授業前の段階で実施しておくという方法がある。この方法であれば学習支援システム（Learning Management System; LMS）を用いてオンライン上で容易に実施できる。小テストはシンプルな選択問題でも良いし、短い記述問題でも良いだろうが、事前学習のリーディングやビデオ視聴を済ませていないと解答できないような問題を設定することが重要だ。小テストを受けていないと授業への参加を認めないというルールを作っておくと効果的である。

このオンライン型小テストは、事前学習を済ませたかを確認するためだけに実施しても良いのだが、この小テストを用いて、学生がどういったところに難しさを感じているのかを見極めるようにすることもできる。そのための一つの手法として、物理学教授のイーブズ・アラウージュ（Ives Araujo）は¹⁴、毎回読んでおくよう指定した範囲について三つの問題をオンライン小テストに含めているという。その内2問は内容理解を問うもので、学生は選択式問題に答えつつなぜその選択肢を選ぶのか理由を述べることが求められる。三つ目の問いは全般的な意見・感想を尋ねるものにして、分かりにくいところや紛らわしいところはないか、また何か質問はないかなどを書いてもらう。学生に事前学習を完了させる動機づけとするためにも、事前小テストは最終成績の中で相応の割合（一例として15

～30%)を占めるようにすべきである。アラウージュの事例では、学生の多くが「学期中に範囲を勉強せざるを得なかったので、最終試験直前になって詰め込み勉強をする必要を感じなかった」と述べている。

授業に先立ってこのような質問を学生に投げかけることで、学生がどこまで理解できておりどこでつまづいているのかを教員は見極めることができる。これはジャスト・イン・タイム・ティーチング (Just in Time Teaching, JiTT) と呼ば

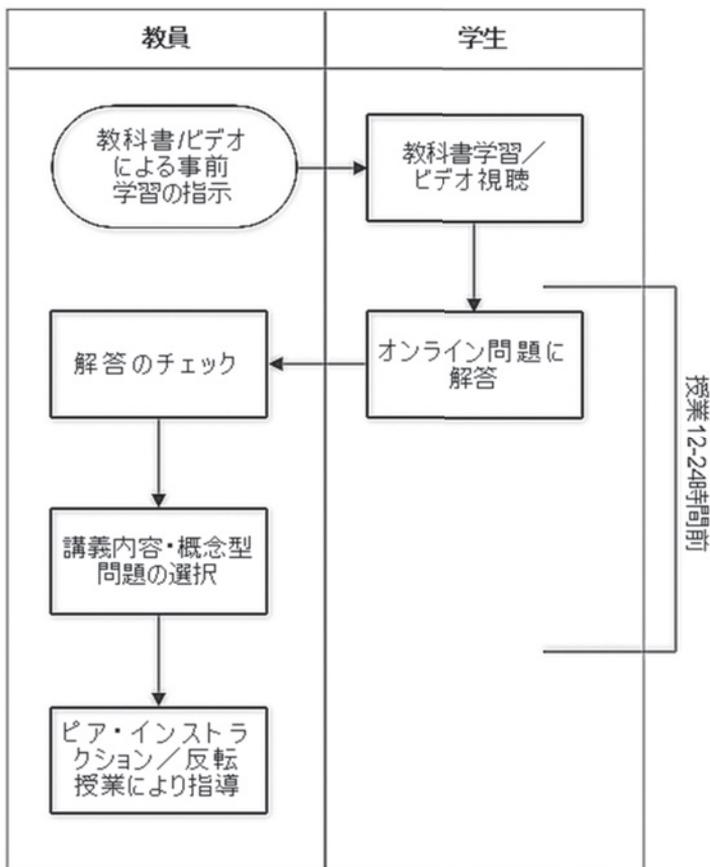


図6 ジャスト・イン・タイム・ティーチングの流れ

れる教授法で、多くの場合ピア・インストラクションと組み合わせて用いられる方式である（図6参照）。この手法では、学生はオンライン・テストを授業よりも十分前もって（例えば授業開始の12時間前までに）終了させておくことが求められる。それにより教員は学生の解答を見た上で、学生のみならずに対応できるように（ミニ・レクチャー用のトピックを決めたり ConcepTest を選んだりして）授業の計画を練るのにちょうど十分なだけの時間を持てるようになる。

6. その他の留意点

アクティブ・ラーニング導入の際には、学生にいかに関事前学習をさせるかという点以外にも、いくつか突き当たることの多い問題がある。以下にそれらをまとめつつ、合わせて解決策も紹介したい。

まずは、学生の多くはアクティブ・ラーニング型授業を未経験であることが挙げられる。ゆえに学生たちは、従来型の、受動的な講義形式を想定しているであろうし、慣れない授業形式に戸惑うかもしれない。よって反転授業の実践事例で提唱されているように、最初の数回の授業で学生たちを訓練し、新しい授業方式の原理を解説しておくことはきわめて重要である^{4,13}。筆者（Kirk）の場合は反転授業の訓練として、家ではどういふことをすべきか、授業ではどういふことをするのかを、初回の授業で短いシミュレーションを体験してもらおうようにしている。マズールの論考¹では、学生に対し開講期間を通して一定期間ごとに授業方式の原理を再三確認することが必要だと述べられている。また先にも述べたように、授業内で行うアクティブ・ラーニング活動を最終成績に反映させないでいくと、アクティブ・ラーニングの部分を形骸化してしまうので決してそうならないようにすることが重要である。教科書やビデオによる事前学習分への小テスト等も成績全体に含めれば良いし、最終試験には ConcepTest 型の設問も含めるべきである。

二つ目として、教員の側も授業の場で起こることすべてをコントロールはできなくなることを受け入れる必要がある。ピア・インストラクションや反転授業の授業中に行うことは、学生が解決できなかった問題に対処することであり、教員はそこで学生のニーズに応じて必要なら少々講義をして解説し、逆に必要がなければ講義を行わないという判断をすることが必要である。さらには、反転授業で行う授業内活動や、ピア・インストラクション授業で行う概念理解のテストも、

また講義型授業で実施する確認テストでさえも、相応の時間を必要とするので、自ずとそれまでの講義形式授業で扱っていた内容すべてを講義することはできなくなる。これは学習事項のうち易しいものは学生が自分で対処すべきであることを意味するのであり、またこの事実を学生に徹底する必要がある。これらのアクティブ・ラーニング型の授業形態では、講義というのは学生の事前学習での疑問点に向けて行うものであり、習得すべき内容を網羅的に伝達するためのものではないのである。

三つ目として、既存の教室は大方の場合、アクティブ・ラーニング型授業向けにデザインされたものではないという点がある。可動式の机を用いれば、グループ・ワークで相談し合ったり、協力して問題を解いたりするのに有用である。一クラスあたりの人数も関係してくる。反転授業は通常、学生の様子を教員が見て回るので、人数のあまり多くない授業で効果を発する。ピア・インストラクションは人数の多いクラスにも適応可能で、その場合はいくつかのグループを見て回って学生が誤った考え方をしていないか様子をつかむようにする。

四つ目として、おそらくこれがもっとも重要であるのだが、アクティブ・ラーニング型授業を導入しようとする際には、最初からスムーズにいくものではないということを想定しておくことだ。良問を作成できたと思っていたところが、かなりの修正が必要だったということもあり得る。

Bennettらは次のように述べている。「様々な方法で反転授業のモデルを実践する者たちは、常にそれに対し微調整、修正、棄却、追加の作業を行いながら、そのモデルが子供達に効果的であるかどうかを肌で感じることを通じて改良しようとしている。それは『あなたの講義を一度録画しておきなさい』そうすればそれでおしまいですよ、ということではない。反転授業は、直接的な指導、実践練習、形成的及び総括的評価、そしてそれ以外の要素も多く含む包括的な教育モデルの一部なのだ。それを通して教師は、子供たちに学びが生まれているか、表面上時間を埋めるだけでなくその応用を促すような質高く魅力的な学習機会を創り出せているかと問うているのだ」¹²。

7. おわりに

これらのアクティブ・ラーニング型授業の手法というのは、最初は気後れしてしまうかもしれないが、少しずつ、例えば ConcepTest 型の問題をいくつかの授

業に加えたり、ビデオ講義をいくつか作ってみたり、というように段階を追って取り入れていくことができる。小さなステップごとに進めることで、時間がかかってしまいそうな手続きも進めやすくなる。いったん一つの学期分を作成してしまえばその教材は次年度も活用できるので、最初の作成時が最も時間的に大変であるとは言えるだろう。しかしながらこの手法は学生のみならず学校にも成果をもたらす可能性がある。トゥーロ・カレッジ・オステオパシー医科大学（The Touro College of Osteopathic Medicine、米国ニューヨーク州）では2012年に全教科を反転授業へと変換し、その後重要な資格試験の合格率を95%に引き上げたのだが、これはアメリカ全土の平均を上回るものである⁵。そして最後に、アクティブ・ラーニング型授業は学習成果を向上させ、勉強の苦手な学生にも取り組みやすいというだけでなく、そのやり方を興味深く有益なものであるととらえる学生から支持を得、また実施する教員からも好まれている¹。

これらの手法を導入する上で、段階を追って進めること以外の留意点としては、問題点に対処し新方式がスムーズに運ぶようにするまでには幾度か試行する必要性が生じるであろうということがある。教材を最初に用いる際に、想定したようには機能しないこともあるだろう。ビデオ講義に音声を録音し直す必要が生じることもあるだろう。これは自然なことで、そういうことは起こるもので教材は徐々に改良されていくものであると認識していれば、教員の側にも負担に感じずに済むであろう。学生の側にも、こうした目新しく不慣れな方法について説明がなされるのが大事であるということも念頭に置くべきである。これら初期段階の大変さが厄介に思える向きもあろうが、学生にとっての学習成果を思うと、やり甲斐もひとしおである。

参考文献

1. Mazur, E. *Peer instruction: A user's manual*. (Prentice Hall, 1997).
2. Straumsheim, C. *Flipping Med Ed*. (2013). Available at: <https://www.insidehighered.com/news/2013/09/09/stanford-university-and-khan-academy-use-flipped-classroom-medical-education>. (Accessed: 22nd August 2018)
3. Flaherty, C. Carl Wieman makes an evidence-based plea for better science instruction in new book. *Inside Higher Ed* (2017). Available at: <https://www.insidehighered.com/news/2017/06/27/carl-wieman-makes-evidence-based-plea-better-science-instruction-new-book>. (Accessed: 6th September 2018)
4. Bergmann, J. & Sams, A. *Flip your classroom: Reach every student in every class*

- every day*. (International Society for Technology in Education, 2012).
5. Straumsheim, C. Become a doctor, no lectures required. (2016). Available at: <https://www.insidehighered.com/news/2016/09/26/u-vermont-medical-school-get-rid-all-lecture-courses>. (Accessed: 24th August 2017)
 6. Cornish, A. & Gringlas, S. Vermont Medical School Says Goodbye To Lectures. NPR.org (2017). Available at: <http://www.npr.org/sections/health-shots/2017/08/03/541411275/vermont-medical-school-says-goodbye-to-lectures>. (Accessed: 24th August 2017)
 7. Freeman, S. *et al.* Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *PNAS* 111, 8410–8415 (2014).
 8. Brown, P. C., Roediger, H. L. & McDaniel, M. A. *Make it stick: the science of successful learning*. (The Belknap Press of Harvard University Press, 2014).
 9. Pyc, M. A. & Rawson, K. A. Testing the retrieval effort hypothesis: Does greater difficulty correctly recalling information lead to higher levels of memory? *Journal of Memory and Language* 60, 437–447 (2009).
 10. Rohrer, D. & Taylor, K. The shuffling of mathematics problems improves learning. *Instr Sci* 35, 481–498 (2007).
 11. Leeming, F. C. The Exam-A-Day Procedure Improves Performance in Psychology Classes. *Teaching of Psychology* 29, 210–212 (2002).
 12. Bennett, B. E. *et al.* The Flipped Class Manifest. The Daily Riff (2011). Available at: <http://www.thedailyriff.com/articles/the-flipped-class-manifest-823.php>. (Accessed: 22nd August 2018)
 13. Kirk, S. & Casenove, D. Flipping the academic writing classroom. in *Flipped instruction methods and digital technologies in the language learning classroom* (eds. Loucky, J. P. & Ware, J. L.) 196–231 (IGI Global, 2016).
 14. Schell, J. How one professor motivated students to read before a flipped class, and measured their effort. *Turn to Your Neighbor: The Official Peer Instruction Blog* (2012).

(受付日 平成 30 年 9 月 30 日)

(受理日 平成 30 年 10 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） 戸田 幹人（奈良女子大学准教授）
小林 正規（千葉工業大学上席研究員） 福森 崇貴（徳島大学准教授）
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）
望月 清（首都大学東京客員教授） 宮寺 隆之（京都大学准教授）
佐々木正弘（聖心女子大学教授） Timothy Minton（慶應義塾大学教授）

日本医科大学基礎科学紀要 第 47 号

平成 31 年 1 月 31 日 印刷

平成 31 年 1 月 31 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
