

エージェントの相互作用的適応行動が 肥満現象に及ぼす影響に関する研究

○高柳一元 倉橋節也 (筑波大学)

The Effect of Agents' Adaptive Behavior on Obesity under Intra- and Inter-Personal Interactions

* K.Takayanagi and S. Kurahashi (University of Tsukuba)

Abstract— This paper aims to demonstrate the dynamics of obesity phenomena by simulating individuals' adaptive behavior under intra- and inter-personal interactions. Based on both the neuroscientific dual-system model and the social contagion theory, we construct an agent-based model in which agents exploit various types of strategic behavior in order to comply with social norms. Taking into account the complexity of obesity, we principally focus on specific characteristics caused by the agents' heterogeneity. Deriving useful insights from the outcome of the simulation, we will present effective and realistic measures to prevent the obesity epidemic.

Key Words: Obesity, social norm, dual-system model, agent-based modeling, strategic behavior

1 研究の背景

(1) 肥満は今や世界的な流行である。従来、肥満現象は米国・英国を筆頭とする欧米社会において問題とされてきたが、今世紀に入り中国・ブラジル・メキシコ・フィリピンなどの新興国における肥満の蔓延が指摘され始めている。世界的に見て、肥満(BMI¹≥30)の者の割合は1980年以降倍増し、世界保健期間(WHO)によれば2008年に全世界で14億人の成人が体重過多(BMI≥25)であり、このうち約2億人の男性と約3億人の女性が肥満とされた⁽¹⁾。こうした肥満率の上昇傾向は近年ややスローダウンしたものの、2012年時点では依然としてOECD34カ国中19カ国において人口の過半数が肥満または体重過多である(Fig. 1)⁽²⁾。日本もまたこの流行から免れておらず、国民全体の肥満率はOECD国中最も低いレベルに止まっている一方で、男性の肥満者(わが国ではBMI≥25)の割合は1980年代以降徐々に上昇し続け、2007年には30%に達した(Fig. 2)⁽³⁾。なお、日本ではこの間、国民一人当たりのカロリー摂取量の増加は確認されておらず⁽³⁾、エネルギー摂取の大幅な増加が肥満率上昇の主な原因と見なされている米国の状況と対照的である⁽¹⁷⁾。

こうした肥満の拡大は、第一に国民の健康問題を惹起する⁽⁴⁾。肥満は心血管疾患(心不全、脳卒中など)、Ⅱ型糖尿病、筋骨格系疾患(骨関節炎)、がん(大腸がん・子宮内膜がん・乳がん・食道がん等)など重篤な疾患と強い関連性を有する。さらに肥満はインスリン抵抗性、高血圧、高血糖などメタボリック症候群と呼ばれる代謝障害をひき起こす原因でもある。特に、日本人を含むアジア人は欧米人と比べ遺伝的にインスリン分泌が低く、より低いBMIで糖尿病・メタボリック症候群を生じる。肥満率が大きく相違するにも拘らず、日本のⅡ型糖尿病の成人人口における有病率は急速に米国に接近し、2011年にはほぼ同率に至った(日本: 11.2%, 米国: 11.3%)。高血圧についても、東アジア人におい

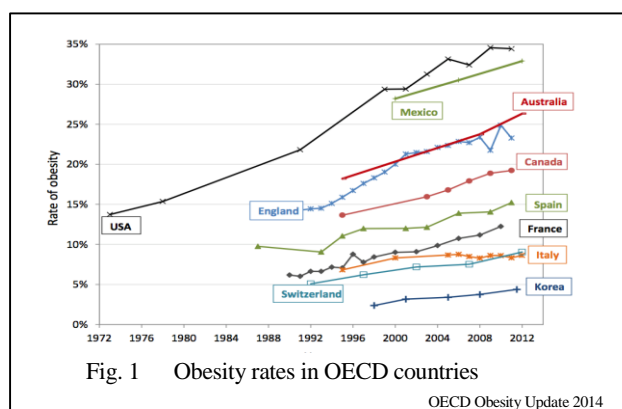


Fig. 1 Obesity rates in OECD countries

OECD Obesity Update 2014

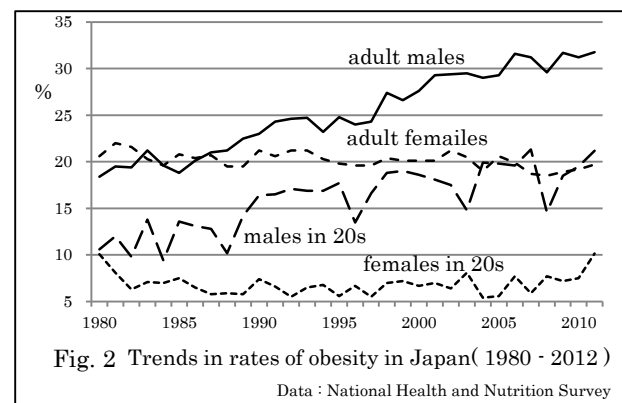


Fig. 2 Trends in rates of obesity in Japan (1980 - 2012)

Data : National Health and Nutrition Survey

ては有病率がBMIに対して作る勾配が白人間での同勾配に比べ急峻とする報告がある⁽⁴⁾。そこで、日本ではBMI≥25比率の抑制が疾病リスク低減にとり重要とされる。そして、肥満が引き起こすこれらの疾患は当然に医療費の増大をもたらす。社会が高齢化し、社会保障給付の増大に喘ぐ世界各国において、肥満流行はまた重大な経済財政問題としての側面を持つ⁽²¹⁾。わが国ではBMIと医療費との間にU字型の関係が認められ、BMI21.0-22.9を底にBMI25.0-29.9および30以上ではそれぞれ9.8%・22.3%医療費が増加し、肥満に起因する直接的コストは医療費全体の3.2%を占めるとされる⁽⁶⁾。

¹ Body Mass Index : 体重÷身長² (kg/m²)

(2) 肥満が発生する原因は、最も基礎的な個人レベルではエネルギーバランスにおいて摂取が消費を上回るといふ一見単純な出来事である。しかし、カロリーのインバランスをもたらす肥満現象を考察対象とする場合には、その複雑適応系(Complex Adaptive Systems)としての本質を捉えることが重要である。例えば、Hammond⁽¹⁹⁾は、肥満現象が以下のような特質を有する複雑適応系であり、それが同現象に対する研究を困難なものにしていると論じている。肥満では①関係するレベルのスケールが極めて広範囲にわたり、遺伝子や脳神経から心理・家族構造、社会システムや社会規範、さらには環境やマーケット、公共政策にまで至っている。それぞれのレベルは異なった経路を通じて肥満現象に対し影響を及ぼしているが、これらは通常全く異なる科学分野の対象領域と考えられている。また②肥満の基礎にある個人のカロリー摂取に影響を与える多様な主体が存在し、家族・学校から各種産業、政府機関やメディア、医療機関、都市設計者や建築家、さらには保険会社までが関連を有している。これらの主体はそれぞれ異なった目的や動機、制限、情報源や意思決定方法に基づいて行動しており、例えば肥満に関する政策を策定する場合にはこうした点を考慮する必要が生じる。さらに③肥満流行においては多数のメカニズムが機能していることが判明している。例えば、個人の食事に関わる選択は、実行制御や線条体ドーパミン系などの神経生物学的システムから影響を受ける一方で、報酬に対する感受性などの心理的要因によっても左右されている。また社会規範を始めとする社会的影響は身体イメージや社会資本を通じて直接・間接に食品消費に影響を与えている。

そして、これら多様なメカニズムが個々に判明したとしても、それらの間の関係性やフィードバックについては十分に解明がなされていない。換言すれば、個別のメカニズムのみによって我々が直面している肥満流行の全体像を明らかにすることは不可能といえる。例えば市場や価格に基づく分析は肥満率の社会全体における上昇トレンドの説明には説得力を有するが、一方でデモグラフィックなグループ間で肥満率に大きな相違が生じている事象や肥満が社会ネットワークを通じて伝播していく現象を上手く説明できない。また、遺伝・神経生物学的メカニズムは個人・社会レベルでの肥満に対する耐性の解明に資するが、他方で肥満流行が発生した時期やその後の急速な拡大、あるいは肥満が空間的なクラスターを発生させる原因とすることは困難である。さらに環境因子による説明は肥満の発生率が地域やグループごとに変化する原因を上手く捉えるが、一方で肥満がより遠い距離を隔ててネットワーク上を伝播していくことや、同一地域内においてデモグラフィックなグループ間で肥満率に相違が生じることを説明できないとされるのである。

本研究では、こうした肥満現象の複雑性を考慮して、現象の全体を一挙に解明することを試みるのではなく、以下に詳述するように、エージェントにおける異質性と社会規範の影響が、適応行動と相互作用を通じて肥満現象に及ぼす効果に焦点を当てる。以下、各分野における先行研究の業績を紹介しながら、本研究のアプローチを明らかにする。第2章では個人内(intrapersonal)における意思決定に関する時間選好性(time preference)のモデルについて論じる。次いで第3

章では、個人間(interpersonal)における肥満の伝播(social contagion)と社会規範(social norms)を論じ、最後に第4章で構想したモデルの概要をODD Protocolとして提示する。

2 時間選好の心理学的・生物学的モデル

肥満の原因であるカロリーインバランスをもたらす要因として、異時点間選択における時間非整合性(time inconsistency)の問題がある。例えば、ある消費者が t 期において意思決定を行うとき、 t 期の効用と比較し $t+1$ 期の効用を大きく割り引くが、 $t+1$ 期の効用と比較して $t+2$ 期の効用はあまり割り引かない。ところが、実際に $t+1$ 期になると $t+1$ 期の効用に比し $t+2$ 期の効用を大きく割り引くので、 t 期に立てた計画(例えば、ダイエットやエクササイズ)は $t+1$ 期では遂行されなくなる。古典的な経済学が前提とする指数割引(exponential discounting)モデルでは割引率は一定とされるが、上述の時間非整合性または選好逆転(preference reversal)を考慮に入れたより現実的なモデルが近年主張されている⁽⁶⁾。消費者は意思決定時点から見て短期的には高い時間割引率で、長期的には低い割引率で将来の効用を割り引くとする双曲割引(hyperbolic discounting)モデルや、意思決定時点から見て最初の1期間は高い時間割引率で、それ以後は低い割引率で将来効用を割り引くとする準双曲割引(quasi-hyperbolic discounting)モデル、等である(Fig. 3)。

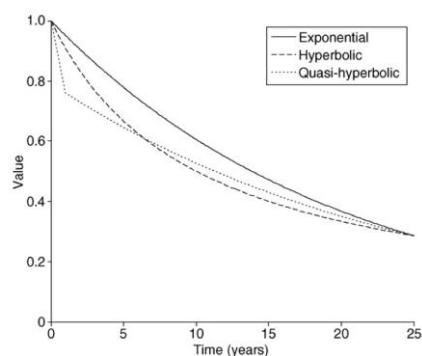


Fig. 3 Discount functions

cited from Bems et al. 2007

肥満現象との関連では、Cutler et al.⁽¹⁷⁾は近年のテクノロジーの進化による食品価格(とりわけ準備コスト)の低下が、時間非整合的な過食を助長しており、米国における肥満率の上昇はこの点から説明可能であるとしている。またIkeda et al.⁽²³⁾は、カロリー摂取を含む異時点間の意思決定において主観的割引率が大きな役割を果たしており、個人間におけるBMIの相違は部分的に時間割引率の違いと関連しているとの仮説を立て、日本人の成人を対象とする聞き取り調査に基づき検証を行っている。結果として、単に主観的割引率が高い場合のみならず、双曲割引的な時間割引を有する場合等においても、回答者のBMIは彼らの時間割引率と関係しているとされた。そこで、カロリー摂取やその帰結としてのBMIは、現在を志向するバイアスを伴う異時点間意思決定により決定されうることを示唆している。

一方、社会心理学者や脳神経学者により実験に基づいたモデルが提唱され、古典的指数割引モデルに対す

る優位性が主張されている。

McClure et al.⁽²⁵⁾は、異時点間選択を行っている実験参加者の脳活動をfMRIで測定した結果を用いて、消費者の意思決定を左右する時間選好性を脳機構と関連づけてモデル化している。将来時点 t における報酬価値 u の割引現在価値を $DPV = \beta \delta^t u$ ($0 < \beta \leq 1, \delta < 1$) と表現すると (β は即時的報酬に対して与えられる特別なウェイト, δ は標準的な指数関数で与えられる割引率), この β および δ がそれぞれ異なる脳神経プロセスに起因しているとされる。異時点間選択には2つの異なったシステムが関係しており、一方で①中脳ドーパミン系と結びついた大脳辺縁系 (limbic system) が即時的に得られる報酬が関係する意思決定によって優先的に活性化される (β システム)。他方で②前頭前皮質 (prefrontal cortex) や後頭頂葉 (posterior parietal cortex) は即時的な報酬が関わる場合に限らず、報酬を得るまでの時間と無関係に全ての種類の異時点間選択において活動している (δ システム)。実験参加者が異時点間の選択肢のうちどちらを選ぶかは、これら β, δ 両システムの活動の相対的な比重によって決定される。 δ 領域が β 領域と比較し著しく活性化している場合には、時間的に後のオプションが選ばれる一方で、 β, δ 両システムが同等に活動している場合には、 β システムがより活動的になる傾向が認められることから、より早い時点のオプションが選択される。こうして異時点間選択の領域において消費者個々人の選好性が異質であるのは、大脳辺縁系に基礎をおく即時的性向を持つシステムと前頭前皮質に依拠する思慮的なシステムの「競争」を反映しているとされる。

またLoewenstein and O'Donoghue⁽²⁴⁾は、同様な2システムモデルを提示し、個人の行動を①複数の選択肢について、目標を見据えた幅広い視野において評価する「熟慮システム」 (deliberative system) と、②怒りや恐れといった感情のほか、食欲や性欲のような動機的要因を包含する「情動システム」 (affective system) との間の相互作用の結果として捉えている (Fig. 4)。このモデル

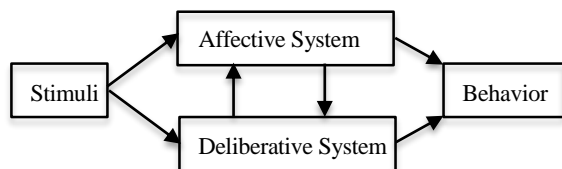


Fig. 4 cited from Loewenstein and O'Donoghue 2004

では、個人はセット X から行動 x を選択するが、この選択において個人は環境からの刺激 s を受ける。刺激 s は脳内において、一方で怒りや飢えといった情動状態 $a(s)$ を活性化し、他方でより広範な目的を想起する認知状態 $c(s)$ をも惹起する。仮に情動システムのみによって行動 x が決定される場合、動機関数 $M(x, a)$ を最大にする行動 x^A (情動最適) を同システムは選択する ($x^A \equiv \operatorname{argmax}_{x \in X} M(x, a)$)。逆に熟慮システムが専ら行動決定に携わる場合、効用関数 $U(x, c, a)$ を最大にする行動 x^D (熟慮最適) が選ばれる ($x^D \equiv \operatorname{argmax}_{x \in X} U(x, c, a)$)。そして個人の行動はこれら2つのシステムの相互作用によって決定されるが、はじめに情動システムが行動をコントロールし、熟慮システムは「自制心」 (willpower) を行使することによって情

動システムに影響を与えるとされる。ここで熟慮システムが自制心を行使し情動最適 (x^A) から実際の行動 (x) を離隔させる過程で蒙るコストは、 $h(W, \sigma) * [M(x^A, a) - M(x, a)]$ とする (係数 $h(W, \sigma)$ は個人の自制心の強さ W と他の影響因子 σ に依拠する)。熟慮システムは、ある行動から得られる効用とその行動を実際に採用するために必要なコストとの間のトレードオフを行い、以下の式の最大化を図ることになる。

$$V(x, s) \equiv U(x, c(s), a(s)) - h(W, \sigma) * [M(x^A, a(s)) - M(x, a(s))]$$

これは、さらに情動最適 (x^A) と熟慮最適 (x^D) それぞれと実際の行動 (x) との間の乖離=コストの最小化問題としても、以下のように定式化できる。

$$[U(x^D, c(s), a(s)) - U(x, c(s), a(s))] + h(W, \sigma) * [M(x^A, a(s)) - M(x, a(s))]$$

ここで係数 $h(W, \sigma)$ は両システムの相対的ウェイトと考えることが出来る。 $h(W, \sigma)$ がゼロに近づけば、熟慮システムが行動を完全にコントロールする一方、同係数が極めて大きくなれば、情動システムが行動を統御することになる。また、このモデルでは社会心理学上の研究成果 (例えば、Baumeisterらの研究⁽⁸⁾⁽⁹⁾) に従って、自制心 (willpower) が限定されたリソースであり、ちょうど筋肉が疲労するように、繰り返し行使されることにより消耗するほか、ストレスや認知的努力によっても枯渇する性質を有することを前提としている。

これら脳科学や社会心理学上の研究成果に基づいて、異時点間 (intertemporal) の問題を個人内 (intrapersonal) における複数システム間の相互作用・競合・協働としてモデル化する試みは、広く消費者の意思決定を対象としているので、肥満現象の基礎にある個々人のカロリー摂取・消費に関する意思決定に対しても応用可能であり⁽²²⁾、本研究が依拠する理由である。Ruhm⁽²⁷⁾では、上述の情動・熟慮の2システムモデルに依拠して肥満問題をモデル化し、肥満流行の諸問題について分析を行っている。このうち同研究では、個人が情動システムに誘導された過食を減少させるため、戦略的な行動=コミットメントをとることを取り上げている。例えば、消費者は情動システムのトリガーとなり得る刺激に身をさらすことを限定するため、レストランやパーティといった過食が生じ易い状況を避ける場合がある。このコミットメントについては、自分が時間的非整合性の問題に直面していることを理解していないナイーブ (naive) な主体と対照的に、将来の自分が選好を変化させ、現在の自分の計画通りに行動しないことを理解して意思決定を行う洗練された (sophisticated) 主体が採用する戦略的行動として一般に理解されている (大垣・田中⁽⁶⁾)。Ruhm⁽²⁷⁾は、こうした戦略的行動を伝統的経済学のモデルで説明することが困難である一方、情動・熟慮システム間の競合・相互作用において自制心が行使される一側面として捉えれば整合的であると主張している。本研究では、エージェントは自己内 (intrapersonal) の2つのシステムの相互作用に基づいて意思決定を行う過程において、後述する社会規範からの影響を受けながらこれら戦略的行動をとることにより、他のエージェントとの間 (interpersonal) においても相互作用を及ぼしていくとするモデル化を試みる。

3 肥満の伝播と社会規範

Christakis and Fowler⁽¹⁵⁾は、このepoch-makingな論文において、フラミンガム心臓研究の疫学データを統計的に分析し、肥満が社会ネットワーク上で個人から個人へと伝播していくことを示しセンセーショナルな反響を呼んだ。ある人が肥満化する確率は一定期間内に肥満になった友人がいる場合には大幅に上昇し、その友人との関係が相互的であれば、確率は171%アップするとされ、社会的つながりの種類に依拠しつつ定量化

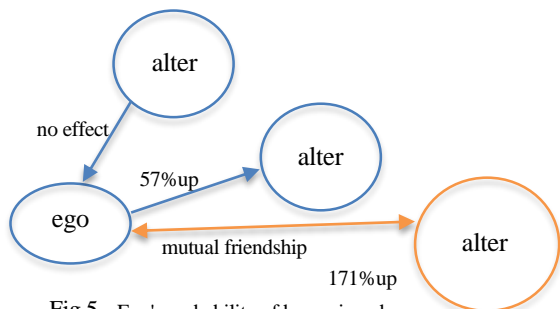


Fig.5 Ego's probability of becoming obese

が可能なパターンを通じて肥満が拡大することが明らかにされている(Fig 5). さらに肥満の伝播は、行動の模倣に原因があるというよりは、肥満であることの受容可能性に関する社会規範の個人における一般的な認識の変化に起因することを示唆している⁽¹⁶⁾. またBurke and Heiland⁽¹¹⁾は、体重に関する社会規範を取り入れた効用関数モデルを用いてシミュレーションを行うことにより、米国人女性30-60歳の体重分布を学歴別のグループ間で比較し分析を行っている。高学歴であるほどグループ内における規範体重への関心が強くなり、規範に従うインセンティブが高くなることからグループ内での平均体重が抑制され、分散も小さくなることがシミュレーションにより実証されている。Burkeらは同じ効用関数モデルを用いて、食品価格の下落に端を発する個人の体重増加が、社会規範との相互作用を通して社会的乗数効果をもたらすプロセスについても実証的分析を行っている⁽¹²⁾. この乗数効果によって、米国人女性の体重分布の上端で観察された、他の部分と比べ不釣合な増加の原因を説明している。またEtilé⁽¹⁸⁾はフランスでの理想体重と食事等の習慣に関するデータを用いて、個々人の体重コントロールにおける社会規範の役割について分析を行い、体型に関する社会規範は減量を望んでいる女性に対してのみ理想のBMIの捉え方に関して大きな影響を与えることを示した。Burke et al.⁽¹²⁾は、米国において2つの期間(1988-1994, 1999-2004)の間で生じた体重に関する自己認識の変化について調査し、成人の平均BMIの増加が体重に関する認識に影響を与えたとする仮説の検証を行った。結果は、個人が自分を体重過多と分類する平均的な確率が、客観的な体重の変化を考慮すると、2つの調査の間で低下しており、女性に関して低下は17歳から35歳の年齢グループに集中しているようであった。Burkeらは、この結果を体重に関する社会規範において世代的な(上方への)シフトが生じたことの証拠と見なしている。

こうして、社会規範が個人の肥満に対する受容性や

理想体重・体型について影響を及ぼし、この影響が同一ネットワーク上に位置する人々の間で伝播していくプロセスが、先行研究により明らかにされている。本研究では、社会規範の影響をエージェント間の相互作用においてモデル化することにより、規範が社会に及ぼすダイナミクスの解明を試みる。

4 ODD Protocol

以上の考察を前提に本研究が構想するAgent-Based Model(ABM)の概要を、Railsback and Grimm⁽²⁶⁾等において提案されている ODD Protocol に依拠して提示する。

4.1 Overview

Purpose: このモデルは、肥満に関する以下のような問題の解明を目的とする。①1つの社会の中において見られる肥満現象の多様性の解明。例えば、日本社会では20代女性の肥満率は過去30年間極めて緩やかに推移しているのに対し、中年男性グループの肥満率は同期間を通して著しく上昇しているが、それは何故なのか。②相互作用の影響下にあるエージェントは戦略的行動により適応を試みる。そのことによって肥満現象が受ける影響をシミュレーションによって明らかにすると共に、現象の将来状況を予測する。③肥満流行において社会規範が重要な役割を果たしていることは先行研究によって指摘されているが、肥満現象における社会規範のメカニズムをエージェントの適応行動を考慮に入れることによって十分に明確化する。④社会シミュレーションを用いてこれら問いに回答することにより、肥満流行を防止するための実効的かつ現実的な対応策を明らかにする。以上の問いはいずれもエージェントの異質性を前提に、適応行動や相互作用をモデル化することによって初めて答えることが出来るものであり、Agent-Based Modelingの採用が不可避である。本研究ではNetLogoを使用することによりモデルを実装する。

Entities, state variables, and scales: シミュレーションにおけるエージェントは、人口統計学的カテゴリにより分類された社会グループ(例、20代男性)に帰属する個人であり、数百人のエージェントが人工的社会グループを形成する。彼(女)らは、社会ネットワーク上に位置するが、このネットワークは全て無向辺から構成されるランダムネットワークであり、その密度は外生変数として予め与えられる。エージェントは体重、基礎代謝、効用といった基本的な変数によって特徴付けられるほか、効用関数の特定のパラメータについては、固有の値を与えられる。さらに、エージェントの適応行動を決定する戦略が、各エージェントに対し確率的に割り当てられる。

Process overview and scheduling: 個々のエージェントは、1タイムステップ毎に予算制約下で効用関数を最大化する食品・非食品の最適消費量を算出するが、自己内の情動・熟慮両システム間に生じる相互作用の結果に基づいて、実際にはこの最適消費量を増減させた量の食品を消費する。この結果、カロリー摂取と消費の関係から、エージェントは体重を増加または減少させる。各ステップ終了時にネットワーク上の隣人達の体重を観測し、その平均値である「規範体重」と自体重との比較に基づき、エージェントは各自の戦略に従

って適応行動をとり、ネットワーク上において適切な体重を維持することを試みる。このプロセスが繰り返されていく間、個々のエージェントはそれぞれ体重を増減させ、社会全体の平均体重は連続的に変動する。社会環境が肥満誘発的(*obesogenic*)である場合(例、食品価格の下落傾向)、平均体重は徐々に上昇していくが、この上昇した平均体重は肥満あるいは体重過多であることに対する社会的制裁を弛緩させる。このプロセスは全体として数十年繰り返され、その間オブザーバーは平均体重の推移のほか、各エージェントの意思決定における情動・熟慮2重システムの相互作用の結果や獲得効用の累積量を記録していく。

4.2 Design concepts

Basic principles : このモデルは以下の3つの基本原則に依拠している。第1に、エージェントは古典的経済学が想定しているような完全な合理性ではなく、有限の認識能力を前提とする限定合理性を持つ存在である。各エージェントは長期的に見て自己の効用を最大化するような意思決定を行う能力はないが、比較的短期間において効用関数を最大化するような消費水準を算出するだけの論理・計算能力は有している。第2に、エージェントの意思決定は、情動・熟慮の2重システムの競合・協働・相互作用により導かれるが、具体的な意思決定においてはエージェントの戦略的適応行動が重要な役割を果たす。熟慮システムが効用関数を最大化するような最適消費量を示す一方、情動システムが目前にある飲食物の即時的摂取を促している場合でも、洗練されたエージェントは戦略的コミットメントを利用することによって情動システムからの影響を抑制するのである。第3に、エージェントは所属するネットワークや人口統計学的なグループの内部において、肥満や体重過多の受容性に関する社会規範の影響を受ける。この規範作用に対するエージェントの適応行動は同一の社会規範の影響下にあるエージェント間においても異質(*heterogeneous*)である。同一地域同一年代の同性間では規範体重が同様であるとしても、個々人の規範への応答は多様である。

Emergence : このモデルはエージェント間における相互作用的適応行動が個々のエージェントの各タイムステップにおける意思決定を左右し、その結果として社会の平均体重の時系列変化に及ぼす影響をシミュレーションにより明らかにする。

Adaptation : エージェントはネットワーク上の隣人達の体重を計測することにより規範体重を算出した上、自体重との比較結果に基づいて適応行動をとる。この適応行動を規定する戦略として幾つかの類型が考えられるが、分類の基準では①適応行動を起こす閾値 λ 、②適応行動のマグニチュード κ 、の2つが想定できる。

If weight $\geq ((1 + \lambda_1) \times \text{norm weight})$, then κ_1

自体重の規範体重からの乖離が所定の閾値を超えた場合に適応行動を始動させるので、この閾値の大小により適応行動の頻度が左右される。適応行動の結果、食品消費に関する意思決定は変化するが、その変化量が大きいほど多くの自制心(*willpower*)を消耗する。①②の組み合わせにより複数の戦略類型が導出される。例えば、(A) $\lambda = \text{low}$ (frequent) and $\kappa = \text{large}$, (B) $\lambda = \text{low}$ and $\kappa = \text{slight}$, (C) $\lambda = \text{high}$ and $\kappa = \text{slight}$, (D) $\lambda = \infty$ (indifferent), (E) $\lambda = \text{stochastic}$, などである。

Sensing and interaction : エージェントはネットワーク上の他者の体重を推知・計測することができる。1人のエージェントがあるタイムステップでの食品消費により体重を増加させれば、彼(女)の体重増加は彼(女)とリンクしたエージェント達により計測され、彼(女)らの適応プロセスを起動し彼(女)達の体重変化に影響を与える。この体重変化は再び当初のエージェントの適応行動において考慮され、相互作用は連続していく。

Stochasticity : シミュレーション開始時において、各エージェントの体重値は、平均と分散が外生変数として所与の対数正規分布に従い、ランダムに与えられる。

Obsevation : このモデルでは主に2つの結果を観測する。第1は、社会を構成する全エージェントの平均体重の時系列変化である。第2は、各エージェントが全期間を通じて獲得する効用の累積量である。社会を評価するにあたり、平均体重が健康上好ましい範囲内で穏やかに推移すれば、その社会は「健康」な社会であると言える。一方、効用の累積量が多ければ、その社会は「豊かな」社会であると言える。

そこで、このモデルは体重と効用という2つの結果を報酬の指標として、エージェントあるいは社会が環境に関する完全な情報を欠いたまま、ネットワーク上での情報収集を繰り返し、報酬の総和の期待値を最大にする適応戦略を決定する「強化学習」のモデルと見られることもできる⁽⁷⁾。

4. 3 Details

Submodels : エージェントの食品消費に関する意思決定は、情動・熟慮の2システム間の協働によりなされるが、熟慮システムによる決定は効用関数を最大化する最適消費量を基礎とする。エージェントの限定合理性を前提とした効用関数については、いくつかの先行研究が提案しているが、本モデルではStrulik⁽²⁸⁾でのモデル採用し、エージェント i の期間 t における効用 $U_t(i)$ は、

$$U_t(i) = [c_t(i) + \beta(i)v_t(i)]^\alpha \cdot [1 - (s_t + \eta)o_t(i)]^{1-\alpha}$$

$$y(i) = c_t(i) + p_t v_t(i), \quad o_t(i) = \epsilon v_t(i) - \mu(i)$$

とする。 $v_t(i)$ 、 $c_t(i)$ は期間 t における i の食品消費と非食品消費をそれぞれ示し、 $\beta(i)$ は食品消費が他の消費との比較上有利する係数、 p_t は食品価格、 $y(i)$ は予算制約を表す。 ϵ は食品量からカロリーへの変換比率(kcal/g)、 $\mu(i)$ は基礎代謝率(Basal Metabolic Rate, kcal)、 $o_t(i)$ は期間 t における i の増加カロリーを意味する。その他、 s_t, η は肥満・体重過多に対する社会的コスト及び健康コストを各々表す。これら式の内部解の1階条件から期間 t におけるエージェント i の最適消費量 $v_t(i)$ が求められる。本研究ではその他、前述の通り、情動・熟慮の2重システムが意思決定のモデルとして採用されている。

参考文献

- 1) World Health Organization
<http://www.who.int/topics/obesity/>
- 2) OECD Obesity Update 2014
<http://www.oecd.org/health/obesity-update.htm>
- 3) 国民健康・栄養調査 厚生労働省
http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyouchousa.html
- 4) フー, F.B. (小林身哉・八谷寛・小林邦彦監訳): 肥満の疫

- 学 名古屋大学出版会 (2010)
- 5) 高艶・馬場園明: 肥満者の減少による糖尿病有病率の低下と医療費削減効果の測定 日衛誌 **65**, 53/59, (2010)
 - 6) 大垣昌夫・田中沙織 : 『行動経済学』有斐閣 (2014)
 - 7) 牧野貴樹 : 実用化する強化学習. 生産研究, **66-3**,305/308 (2014)
 - 8) Baumeister, R.F., Vohs, K.D. and Tice, D.M. : The Strength Model of Self-Control. *Current Directions in Psychological Science*, **16-6**, 351/355 (2007)
 - 9) Baumeister, R.F. and Vohs, K.D. : Self-Regulation, Ego Depletion, and Motivation. *Social and Personality Psychology Compass* **1**, 1/14 (2007)
 - 10) Berns, G.S., Laibson, D. and Loewenstein, G : Intertemporal choice - toward an integrative framework. *Trends in Cognitive Science*, **11-11**, 482/488 (2007)
 - 11) Burke, M.A. and Heiland, F.W. : The Strength of Social Interactions and Obesity among Women. *Agent-Based Computational Modeling: Applications in Demography, Social, Economic and Environmental Sciences*, edited by F.Billari, T.Fent, A.Prskawetz, and J.Scheffran. Heidelberg: 117/137, Springer (2006)
 - 12) Burke, M.A. and Heiland, F.W. : Social Dynamics of Obesity. *Economic Inquiry*, **45-3**, 571/591 (2007)
 - 13) Burke, M.A., Heiland, F.W. and Nadler, C.M. : From “Overweight” to “About Right”: Evidence of a Generational Shift in Body Weight Norms. *Obesity*, **18-6**, 1226/1234 (2010)
 - 14) Burkley, E., Anderson, D., and Curtis, J. : You Wore Me Down: Self-Control Strength and Social Influence. *Social and Personality Psychology Compass*, **5-7**, 487/499 (2011)
 - 15) Christakis, N.A. and Fowler, J.H. : The Spread of Obesity in a Large Social Network over 32 years. *The NEW ENGLAND JOURNAL of MEDICINE*, **357**, 370/379 (2007)
 - 16) Christakis, N.A. and Fowler, J.H. : Social contagion theory: examining dynamic social networks and human behavior. *Statistics in Medicine*, **32-4**, 556/577 (2013)
 - 17) Cutler, D.M., Glaeser, E.L. and Shapiro, J.M. : Why Have Americans Become More Obese? *Journal of Economic Perspectives*, **17-3**, 93/118 (2003)
 - 18) Etilé, F : Social Norms, Ideal Body Weight and Food Attitudes. *Health Economics* **16**, 945/966 (2007)
 - 19) Hammond, R.A. : Complex Systems Modeling for Obesity Research. *Preventing Chronic Disease*, **6-3**, A97 (2009)
 - 20) Hammond, R.A. : Social Influence and Obesity. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes & Obesity*, **17-5**,467/471 (2010)
 - 21) Hammond, R.A. and Levine, R. : The economic impact of obesity in the United States. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity : Targets and Therapy*, **3**, 285/295 (2010)
 - 22) Herman, C.P. and Polivy, J. : Self-Regulation and the Obesity Epidemic. *Social Issues and Policy Review*, **5-1**, 37/69 (2011)
 - 23) Ikeda, S., Kang, M.I. and Ohtake, F. : Hyperbolic discounting, the sign effect, and the body mass index. *Journal of Health Economics*, **29**, 268/284 (2010)
 - 24) Loewenstein, G.F. and O'Donoghue, T. : Animal Spirits: Affective and Deliberative Processes in Economic Behavior. Working Paper, 04/14, Center for Analytic Economics, Cornell University (2004)
 - 25) McClure, S.M., Laibson, D.I., Loewenstein, G. and Cohen, J.D. : Separate Neural Systems Value Immediate and Delayed Monetary Rewards. *Science*, **306**,503/507 (2004)
 - 26) Railsback, S.F. and Grimm, V. : Agent-Based and Individual-Based Modeling : A Practical Introduction. Princeton University Press (2011)
 - 27) Ruhm, C.J. : Understanding overeating and obesity. *Journal of Health Economics*, **31**, 781/796 (2012)
 - 28) Strulik, H. : A mass phenomenon: The social evolution of obesity. *Journal of Health Economics*, **33**, 113/125 (2014)