

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）  
栄養政策等の社会保障費抑制効果の評価に向けた医療経済学的な基礎研究  
分担研究報告書

栄養政策の公衆衛生学的効果の評価  
高血圧と心血管疾患に関するシステム・ダイナミクスモデル

研究分担者 杉山 雄大 国立国際医療研究センター研究所糖尿病情報センター  
研究代表者 西 信雄 医薬基盤・健康・栄養研究所国際栄養情報センター  
研究分担者 池田 奈由 医薬基盤・健康・栄養研究所国際栄養情報センター  
研究協力者 加藤 浩樹 医薬基盤・健康・栄養研究所国際栄養情報センター

研究要旨

本邦における栄養政策上最も成功した政策課題の一つは、食塩摂取量の減少と考えられる。本分担研究では、本邦における食塩摂取減少が及ぼしたインパクトを定量的に評価するために、「もし食塩が減少しなかったとしたら」などの反事実的（counterfactual）な状況を設定し、実際の数字との比較を行うことにより、食塩摂取量の減少が高血圧と心血管疾患の患者数・医療費にどれだけ影響を及ぼしているのか検討することとした。

初年度は、研究班内での議論を行い、モデルの対象とする期間、解析手法、含まれるべき変数などの検討を行なった。更に、システム・ダイナミクスの手法を用いてモデルの枠組みを作成した。その後、班会議で素案を紹介し、他の研究班員からのフィードバックを受けた。

結果としてできたシステム・ダイナミクスモデルは、水平移動が加齢、垂直移動が罹患もしくは死亡を表す加齢連鎖モデル（Aging chain model）となった。投薬の有無、肥満の有無など、共変量によってもリスクが大きく変わるという指摘を受けたため、層化解析など、対処方法を検討することとした。次年度には、実際にデータを取得し、モデルで推定を行うことを試みる予定である。

A. 目的

本研究班では、国内外における栄養政策等の公衆衛生学的効果及び社会保障費抑制効果並びに評価方法を検討している。本分担研究では、本邦における栄養政策の1類型を選択し、その効果を評価することにより、評価方法の検討・開発を行うこととしている。

本分担研究が対象とする栄養政策の選択については、定量的な解析ができるテーマであること、インプットとアウトプットの関連が定性的には自明であることであることが望ましいと考えられた。研究班内では、①給食、管理栄養士制度、②食事の西洋化に伴う肥満や糖尿病、心疾患の増加、③食塩摂取量の減少と、高血圧・心血管疾患の減少の3つが候補として挙げられた。①給食、管理栄養士制度に関しては、評価が難しく、議論が多面的かつ定性的なものになってしまう可能性が高いため優先度が低く、②食事の西洋化に伴う肥満や糖尿病、心疾患の増加に関しては集団におけるインプット（食事の西洋化）とアウトプットの結びつきが明らかなほどに強くはないことから

最初に作成するモデルとしては困難を伴うと考えられた。それに対して、食塩摂取量の減少、高血圧と脳卒中の減少は集団として明らかなためモデル作成が比較的行きやすいと考えられたこと、政策的意義が大きいことから、③食塩摂取量の減少と、高血圧・心血管疾患の減少、ため、食塩摂取量の減少と、それに伴う心血管疾患（特に脳卒中）の減少について取り組むこととした。

食塩摂取量は、測定方法の変遷などがあるものの、国民栄養調査／国民健康・栄養調査によると1973年以降概ね減少が続いている。[1, 2]食塩摂取が減少することにより高血圧患者の減少や集団全体の血圧の低下につながり、脳卒中を初めとする心血管病変の減少につながる事が、様々な研究結果から推定される。[3-5]

一方で、食塩摂取量の減少が高血圧患者や心血管病変の患者数にどれだけの影響を及ぼし、医療経済的にどれだけ効果をもたらしたかについては、詳らかにされていない。

今回我々は、本邦における食塩摂取減少

が及ぼしたインパクトを定量的に評価するために、「もし食塩摂取量が減少しなかったとしたら」などの反事実的(counterfactual)な状況を設定し、実際の数字との比較を行うことにより、食塩摂取量の減少が高血圧と心血管疾患の患者数・医療費にどの程度影響を及ぼしているのか検討することとした。

## B. 研究方法

初年度は、研究班内での議論を行い、モデルの対象とする期間、解析手法、含まれるべき変数などの検討を行なった。更に、システム・ダイナミクス的手法を用いてモデルの枠組みを作成した。その後、班会議で素案を紹介し、他の研究班員からのフィードバックを受けた。

### 1. 研究班内での検討

研究班内で複数回の打ち合わせを行い、モデルの対象とする期間、解析手法、含まれるべき変数の検討等を行なった。

### 2. モデルの枠組み作成

システム・ダイナミクス的手法を用いて、素案としてのモデルを作成した。

システム・ダイナミクスとは、1950年代にマサチューセッツ工科大学の Jay W. Forrester[6]により開発されたシミュレーション手法であり、個人ではなく集団を対象にすることからマクロ・シミュレーションに分類される(マルコフ連鎖モンテカルロ法など、個人を1単位として行うマイクロ・シミュレーションと区別される)。

具体的には、杉山らが以前作成した、糖尿病性腎症による透析導入に関するシステム・ダイナミクスモデル[7]を参考に、素案としてのモデルの枠組みを作成した。それに加え、モデルを作成するのに必要な変数のリストを作成した。

### 3. 班会議での議論

班会議で素案を紹介し、他の研究班員からのフィードバックを受けた。

#### (倫理面への配慮)

本研究で作成されるシステム・ダイナミクスモデルは、人口推計、人口動態統計、国民健康・栄養調査など政府統計の結果としての数値や、公開された学術論文から引用されるパラメータなどのみを用いるもので、個人情報を用いることはない。そのた

め、本研究は「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の適用範囲外であり、倫理審査等は要さない。

## C. 研究結果

### 1. 研究班内での検討

モデルの対象とする期間については、1975年以降は国民健康・栄養調査からの食塩摂取量が使えること、1982年より国民医療費のデータがあることなどから、このあたりから最近までの時期を範囲に含めることを検討した。

統計手法としては、個人単位で行うマイクロ・シミュレーションと、集団単位の値を用いるマクロ・シミュレーションがあるが、集団単位での推移に興味があり、食塩摂取量の変化がこの推移にどのような影響を及ぼしたのかという大枠の推論が目的であるため、マクロ・シミュレーションを用いることとした。杉山らは、以前に糖尿病性腎症による透析導入に関するシステム・ダイナミクスモデルを作成したことがあり、習熟したシステム・ダイナミクスモデルを用いて研究することとなった。

変数についての検討の結果については、次項でまとめて報告する。

### 2. モデルの枠組み作成

現段階のシステム・ダイナミクスモデルを図に示す。

(図. 現時点でのシステム・ダイナミクスモデルの枠組み.)

システム・ダイナミクスモデルでは、「ストック」と呼ばれる四角に囲まれた変数と、「フロー」と呼ばれるストック間を繋ぐ太い矢印の変数をその骨格に持つ。ストックやフローを規定するのはその他の変数であり、例えばAという変数にBとCという変数から青い矢印が入るとすれば、 $A=f(B, C)$ (AはBとCの関数)という関係を示す。

このシステム・ダイナミクスモデルは、加齢連鎖モデル(Aging chain model)といい、水平方向の移動は加齢を表す(左から順に40代、50代、60代、70代、80歳以上)。モデルの左側にある雲のマークは39歳以下の人を意味していて、ストック変数でなく雲になっている理由は、39歳以下はモデルのスコープ外であることである。垂直方向の移動は、疾患の罹患を示す。上から順に、高血圧も心血管疾患もない者(nCnH)、高血

圧あり、心血管疾患なしの者 (nCH)、心血管疾患ありの者 (C) となっており、nCnH から nCH への移動 (高血圧の罹患)、nCnH から C への移動 (高血圧がない者における心血管疾患の罹患)、nCH から C への移動 (高血圧患者における心血管疾患の罹患) がそれぞれ起こる。また、それぞれのストック変数から雲に向かって矢印が出ており、これらはそれぞれの状態からの死亡を表す。それぞれの移動はフローによって定められた率によって起こる。水平方向の移動に関しては、1年に1歳ずつ年を取るということをモデルに組み込む。垂直方向の移動に関しては、移動元のストックの人数に罹患率 (ないし死亡率) を掛けることで罹患数 (ないし死亡数) を算出する。

モデルに含む変数について表に示す：

(表. モデルに含む変数についての案.)

今後の解析予定としては、対象期間中の実際の人口や患者数とモデル化された人口や患者数が適合するように、モデルの最適化 (最適な係数の決定) を行う。その上で、「もし〇〇年のレベルから食塩摂取量が減少しなかったとしたら」などの反事実的な仮定をおいた患者数をシミュレーションし、実際の食塩摂取量の推移に基づいたシミュレーション結果との差をとることで食塩摂取量の減少がもたらす患者数へのインパクトを定量化する。また一人あたりの医療費をかけることにより、国全体の医療費へのインパクトも定量化することを目指す。

### 3. 班会議での議論

班会議で素案を紹介し、他の研究班員から以下のフィードバックを受けた：

- 降圧薬内服、栄養指導についてどのように扱うか、検討が必要。
- 減量もリスク低下につながる。可能であれば BMI による層別化なども検討したほうがよい。

### D. 考察

今年度は、本分担研究で対象とする栄養政策を食塩摂取量の減少に定め、システム・ダイナミクスのモデルの枠組みを作成した。システム・ダイナミクスモデルを、実際の人口や患者数に適合するように最適化 (最適な係数の決定) し、そのモデルを使用して実際の食塩摂取量の推移に基づいた患者数のシミュレーション結果と「もし

〇〇年のレベルから食塩摂取量が減少しなかったとしたら」などの反事実的な仮定をおいた患者数をシミュレーション結果の差を、減塩政策のインパクトとして定量化する。

作成予定のモデルは比較的直感的であるが、共変数としての肥満の有無や内服の有無、喫煙の有無などを考慮しないと、これらの経年変化も食塩摂取量の効果として計算してしまう可能性がある (回帰分析における交絡と同様の事象)。これらの事象を避けることが重要である一方で、あまりモデルを細かくしすぎると、パラメータの計算ができなくなる (高次元に及ぶ情報は、統計情報や研究論文からの引用でも得られない可能性がある)。これらのバランスを考えながら、また情報が得られない場合には妥当と思われる仮定を置きながら、モデル作成を進めていく必要があると考えられた。

また、モデルに組み込む変数を考える中で、それぞれの変数によって、得られる期間が異なることが判明している。いくつかの変数については、経年変化から外挿することで時期を延ばすことも検討している。その際には、感度分析を行い、仮定に対してモデルが頑健かどうかを調べる必要がある。

### E. 結論

システム・ダイナミクスを用いた食塩摂取量減少と高血圧、心血管疾患患者数に関するシミュレーションモデル作成を検討した。次年度には、実際にデータを取得し、モデルで推定を行うことを試みる予定である。

### F. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

### G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

### 参考文献.

1. 吉池信男, 市村喜美子, *健康政策の推進・評価における国民健康・栄養調査—長期モニタリングとしての役割と歴史—*. 保健医療科学, 2012. 61(5): p. 388.
2. 厚生労働省. *平成29年国民健康・栄養調査結果の概要*. 2018.

<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000351576.pdf>.

3. Sacks, F.M., et al., *Effects on blood pressure of reduced dietary sodium and the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet. DASH-Sodium Collaborative Research Group.* N Engl J Med, 2001. 344(1): p. 3-10.
4. Shima, A., et al., *Relationship of household salt intake level with long-term all-cause and cardiovascular disease mortality in Japan: NIPPON DATA80.* Hypertens Res, 2020. 43(2): p. 132-139.
5. Tuomilehto, J., et al., *Urinary sodium excretion and cardiovascular mortality in Finland: a prospective study.* Lancet, 2001. 357(9259): p. 848-51.
6. Forrester, J.W., *Industrial dynamics.* Journal of the Operational Research Society, 1997. 48(10): p. 1037-1041.
7. Sugiyama, T., et al., *Construction of a simulation model and evaluation of the effect of potential interventions on the incidence of diabetes and initiation of dialysis due to diabetic nephropathy in Japan.* BMC health services research, 2017. 17(1): p. 833.

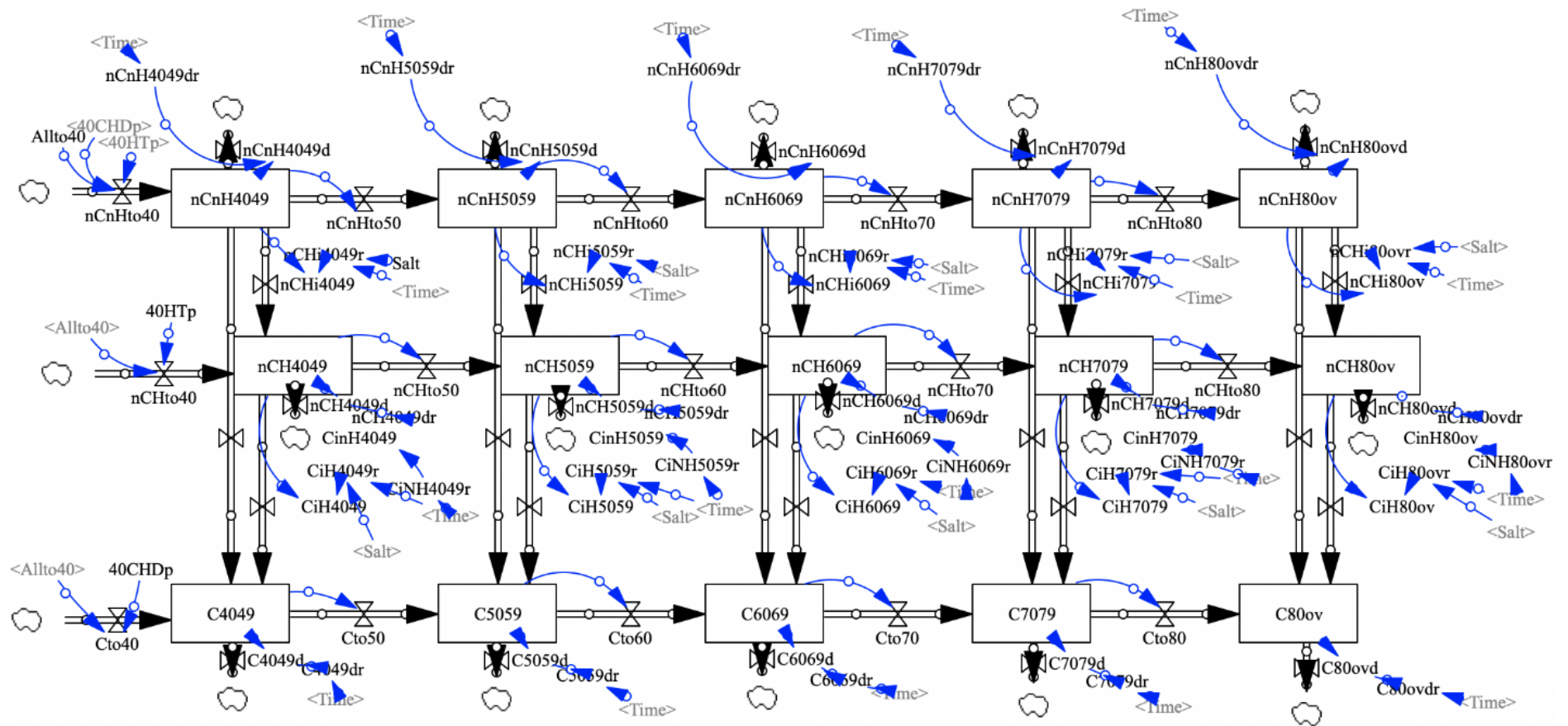


図. 現時点でのシステム・ダイナミクスモデルの枠組み.

表. モデルに含む変数についての案.

変数名		想定される情報源	情報の使用法
スト ック	健常者数 (非高血圧・非 CVD の者)	人口推計、患者調査	最適化の際の外部データ
	高血圧患者数	循環器疾患基礎調査、国民健康・栄養調査、NDB	
	心血管疾患患者数	患者調査、NDB、循環器疾患基礎調査 (既往)、国民健康・栄養調査 (既往)	
そ の 他 の 変 数	平均食塩摂取量	国民健康・栄養調査	実際の推移をモデルに挿入し最適化、その後曝露変数として使用
	健常者 (非高血圧・非 CVD の者) 死亡率	人口動態統計	疫学研究の結果により、死亡率比を計算して挿入
	高血圧患者死亡率	人口動態統計、疫学研究の結果	
	CVD 患者死亡率	人口動態統計、疫学研究の結果	
	40 歳時点での高血圧有病率	循環器疾患基礎調査、国民健康・栄養調査、疫学研究の結果	モデルに挿入
	40 歳時点での CVD 有病率	患者調査、NDB、循環器疾患基礎調査 (既往)、国民健康・栄養調査 (既往)、疫学研究の結果	モデルに挿入
	食塩摂取量と高血圧罹患の関連	疫学研究の結果	
	健常者における食塩摂取量と CVD 罹患の関連	疫学研究の結果	
	高血圧患者における食塩摂取量と CVD 罹患の関連	疫学研究の結果	
	健常者 1 人あたりの医療費	国民医療費、NDB	モデルに挿入
	高血圧患者 1 人あたりの医療費	国民医療費、NDB	
	CVD 患者 1 人あたりの医療費	国民医療費、NDB	