

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）
食環境づくりの推進を通じた減塩の取組がもたらす公衆衛生学的効果及び
医療経済学的効果を推定するための研究
分担研究報告書

都道府県版シミュレーションモデルの作成

研究分担者 西 信雄 聖路加国際大学 大学院公衆衛生学研究科
研究分担者 湊 宣明 立命館大学 大学院テクノロジー・マネジメント研究科
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 池田奈由 医薬基盤・健康・栄養研究所 国立健康・栄養研究所
栄養疫学・政策研究センター
研究協力者 ファティン・アミナ・ビンティ・ハッサン
医薬基盤・健康・栄養研究所 国立健康・栄養研究所
栄養疫学・政策研究センター

研究要旨

減塩の介入に関する全国版シミュレーションモデルをもとに、都道府県版シミュレーションモデルを作成した。基本的な方針として昨年度の研究で作成した全国版モデルの構造および係数値を維持することとした。全国版モデルの係数値は全国の統計データをもとに算出されているため、全国の統計データを各都道府県の統計データに置き換えることで全国版のモデルを都道府県版のモデルに拡張した。都道府県版の一例として東京都のシミュレーション結果を図示したところ、全国版の係数値を使用した基本シナリオに比べて、減塩食品利用促進シナリオにおいて、さらに減塩食品改質シナリオにおいて高血圧や循環器疾患の有病者数が少なく、これらの疾患に関連する医療費や介護費も少ない値で推移する可能性が示された。今後、各都道府県の減塩対策担当者が利用可能なモデルのインタフェースを開発して公開する予定である。

A. 目的

慢性疾患の予防に関して、米国では疾病予防管理センター（the Centers for Disease Control and Prevention: CDC）が包括的なシミュレーションモデルである The Prevention Impacts Simulation Model (PRISM) [1]を作成し、各自治体向けにウェブサイトで公開している。また、豪州でも各自治体への対応は不十分であるものの、Sax Institute が循環器疾患負荷モデル（The National Burden of Cardiovascular Disease Model）を公開している（<https://exchange.iseesystems.com/public/sax-institute/preventing-cvd-deaths-in-australia/index.html#page1>）。

本分担研究はシミュレーション手法としてPRISMや循環器疾患負荷モデルと同様にシステム・ダイナミクス(system dynamics: SD)を採用し、主に循環器系の慢性疾患を対象に医療経済学的評価が可能な全国版のシミュレーションモデルを昨年度作成した[2]。本年度はこの全国版のモデルをもとに、都道府県版のシミュレーションモデルを作成することを目的とした。

B. 研究方法

1. モデルの構造

都道府県版のシミュレーションモデルは全国版と同様、全体を大きく食塩摂取量モデル(dietary salt intake model)、慢性疾患モデル(NCD model)、医療費・介護費モデル(social security expenditure model)、減塩介入モデル(salt reduction intervention model)と呼ぶ4つのモデルで構成した(図1)。さらに、この4つのモデルの基盤として、一般人口モデル(general population model)を作成した。これらは互いに連動しており、平均食塩摂取量(average dietary salt intake)は減塩介入モデルにある「日本人における減塩食品の利用(populations' low-salt diet adoption)」により低下が促進され、平均食塩摂取量は慢性疾患モデルにある高血圧および循環器疾患(CVD)と慢性腎臓病(CKD)の罹患のリスクとなり、さらにCVDとCKDの治療が行われることによって、医療費・介護費モデルの費用が変化する。この費用の変化が公衆衛生的な介入となつて、減塩介入モデルにある減塩食品への改質が促進され、

減塩食品の利用者数が増加する。

全国版のモデルでは 2012 年以降の統計値をもとに係数の最適化を行い、2040 年までのシミュレーションを 0.0625 年の時間ステップで行った。このモデルの最適化により、減塩介入モデルにおける企業の減塩食品への改質について、その割合の初期値は 3%と算出された。また、減塩食品の利用者の割合について、その初期値は 4%と算出された。

都道府県版のシミュレーションモデルは全国版モデルの構造および係数値を維持した上で、各係数値を最適化する根拠とした統計指標の全国値を各都道府県の値に置換することで、全国版と同様のシミュレーション結果が得られるものとした。

モデルの作成および都道府県値への置換には Vensim DSS 10.1.1 を用い、都道府県値の入力には添え字 (subscript) 機能を使用した。

2. 都道府県の統計指標への置換

以下の各モデルの構造にしたがい、統計指標の都道府県値への置換を行った。各モデルの図において、都道府県値に置換した変数に水色のマーカーをつけた。

①一般人口モデル (図 2)

性別に 40 歳未満、40-49 歳、50-59 歳、60-69 歳、70-79 歳、80-89 歳、90 歳以上の 7 つの年齢階級からなる年齢鎖 (aging chain) のストック・フロー図を作成した。この年齢鎖をもとに 15-49 歳の女性の人口を求め、男児および女児の 2012 年から 2021 年の出生率を表関数で与えて出生数を計算した。40 歳以上の各年齢階級のストック間は平均 10 年間の滞在期間の後に次の年齢階級に移動することとした。また、各年齢階級における死亡率、人口流入率をもとに、人口を増減させた。

各都道府県のモデルでは、男児および女児について人口動態統計をもとに 2012 年から 2021 年の出生率の表関数を作成して変数とした。また、各年齢階級における性別人口、死亡率、人口流入率については、Global Burden of Disease (GBD) の HP で公開されている各都道府県の値をダウンロードして、初期値である 2012 年の全国値を置換した。

②食塩摂取量モデル (図 3)

平均食塩摂取量 (average dietary salt intake) をストックとして、そこへのフローが一つのモデルとした。食塩摂取量の目標値を 8g/日とし、平均食塩摂取量がそれを上回れば差が負となるように計算式を設定した。

後述する減塩食品の利用者数や、平均食塩摂取量について一般に認識されている値 (perceived average salt intake) と実際に調査で得られた値の比も平均食塩摂取量の変化の計算に組み入れた。

各都道府県のモデルでは、平均食塩摂取量の初期値を平成 24 年国民健康・栄養調査における各都道府県の年齢調整値に置換した [3]。

③慢性疾患モデル (図 4、図 5、図 6)

高血圧、CVD、CKD のそれぞれについて年齢鎖を基本とするストック・フロー図を作成し、各罹患のフローを有病者のストックに流入させた。各ストックからは回復者および死亡者のフローを流出させた。非 CVD 者のストックには全人口のうち 40 歳を迎えた者が流入するようにした。さらに、これら 3 つのストック・フロー図について、高血圧有病者の中から CVD の発症があり、また CVD 有病者の中から CKD の発症があるように変数間を連結した。以上をもとに障害調整生存年 (Disability-adjusted Life Year: DALY) を計算した。

各都道府県のモデルでは、高血圧有病者については 2012 年の国民健康・栄養調査における年齢階級別の全国値を各都道府県の年齢階級別人口にそれぞれ掛け合わせて 2012 年の初期値とした。CVD、CKD については、各ストックの初期値を GBD の HP で公開されている各都道府県の値に置換した。

④医療費・介護費モデル (図 7)

医療費、介護費、国内総生産 (gross domestic product: GDP) のそれぞれについてストック・フロー図を作成し、CVD や CKD の有病者に対する医療および介護の費用がそれぞれのストックに流入するようにした。GDP については、医療ではなく減塩介入のような公衆衛生に投入される予算の計算に用いた。

各都道府県のモデルでは、平成 24 年度介護保険事業状況報告における各都道府県の値で各ストックの初期値を置換した。医療費については GDP との比の計算で用いるため、全国版の初期値を使用した。

⑤減塩介入モデル (図 3)

減塩食品の利用者と減塩食品への改質についてそれぞれストック・フロー図を作成し、先行文献 [4] や一般的な拡散モデルを参考に、ヘルスプロモーション等による減塩の必要性の自覚が減塩食品の利用を促進し、減塩食品の利用者数の増加および政策の介入が減

塩食品への改質を促進するよう各ストック・フロー図を連結した。

各都道府県のモデルでは、減塩食品の潜在的利用者数を平成 24 年 12 月の「食育に関する意識調査」（平成 25 年版食育白書）における「食塩の多い料理を控えること」に「いつも心がけている」および「ときどき心がけている」の回答割合の合計（74.5%）を各都道府県の人口にかけ合わせた人数に置換した。減塩食品の改質については、減塩食品が都道府県域を越えて流通すると考えられることから全国値を使用した。

3. シナリオを設定したシミュレーション

各都道府県のシミュレーションの実行においては Vensim DSS と互換性のある Stella Architect を用いた。本ソフトは各都道府県のシミュレーション結果の表示に優れている。

①基本シナリオ

全国版の係数値を維持したモデルの実行結果を基本シナリオ（base run）とした。

減塩食品の利用への移行率を 0.02、減塩食品への改質の移行率を 0.05 とした。

②減塩食品利用促進シナリオ

減塩食品の利用への移行率を 0.1 とし、減塩食品への改質の移行率は 0.05 のままとするシナリオを利用促進シナリオ（adoption fraction）とした。

③減塩食品改質シナリオ

減塩食品の利用への移行率を 0.02 としたまま、減塩食品への改質の移行率を 0.15 とするシナリオを改質促進シナリオ（reformulation）とした。

（倫理的配慮）

本研究は文献等の公表資料を用いて行ったもので個人情報とは取り扱わなかった。

C. 研究結果

都道府県別のシミュレーションモデルの例として、東京都について主な変数に関するシミュレーションをシナリオ別に行った。

1) 食塩摂取量（図 8）

男女とも平均食塩摂取量（salt intake）は基本シナリオと改質促進シナリオがほぼ同じ値で推移し、利用促進シナリオは 2026 年ごろまでこれらより低い値で推移した。

2) 高血圧有病者（図 9）

男女とも全体に減少する傾向を示し、基本シナリオに比べて利用促進シナリオが少なく、改質促進シナリオがさらに少ない値で推

移する結果を示した。

3) CVD 総有病者数（図 10）

男女とも全体に増加する傾向を示し、基本シナリオに比べて利用促進シナリオがやや少なく、改質促進シナリオがさらにやや少ない値で推移する結果を示した。

4) CVD による障害者数（図 11）

男女とも全体に増加する傾向を示し、基本シナリオに比べて利用促進シナリオがやや少なく、改質促進シナリオがさらにやや少ない値で推移する結果を示した。

5) CKD 総有病者数（図 12）

男女とも全体に増加する傾向を示し、基本シナリオに比べて利用促進シナリオがやや少なく、改質促進シナリオがさらにやや少ない値で推移する結果を示した。

6) CKD による障害者数（図 13）

男女とも全体に増加する傾向を示し、基本シナリオに比べて利用促進シナリオがやや少なく、改質促進シナリオがさらにやや少ない値で推移する結果を示した。

7) 高血圧、CVD、CKD による医療費（図 14）

全体に増加する傾向を示し、基本シナリオに比べて利用促進シナリオがやや少なく、改質促進シナリオがさらにやや少ない値で推移する結果を示した。

8) 高血圧、CVD、CKD による介護給付費（図 15）

全体に増加する傾向を示し、基本シナリオに比べて利用促進シナリオがやや少なく、改質促進シナリオがさらにやや少ない値で推移する結果を示した。

D. 考察

減塩の介入に関する都道府県版シミュレーションモデルを作成し、シナリオ別の結果を示した。本報告書では東京都の例を示したが、都道府県版は全国値の係数値に基づくモデルのため、シナリオ別の相対的な結果は千葉県や兵庫県でも同様であった。

食塩摂取量のシミュレーション結果は、シナリオ別の差がいったん広がった後に小さくなった。これは、目標値（8g）と各時点の現状値の差を小さくするような収束モデルの考え方を採用しているためで、目標値に近づくにつれてシナリオ別の差も小さくなるように計算されたためと考えられる。高血圧有病者数においても食塩摂取量が高血圧の発症に影響するため、食塩摂取量の推移と同様に、いったんシナリオ別の差が広がった後に小さくなる推移を示した。

CVD および CKD の総有病者数とそれらによる障害者数、さらに高血圧、CVD、CKD による医療費および介護費の結果はほぼ同様のパターンを示し、またシナリオ別の差も大きくなかった。これは、減塩のみによる高血圧有病者数の減少に限界があること、また CVD や CKD のリスクとして高血圧は重要であるものの、他のリスクも大きな役割を示していることが反映されていると考えられる。

今回の都道府県版のシミュレーションモデルでは、高血圧有病者数の計算で全国の性別年齢階級別の割合を用いているが、国民健康・栄養調査の調査票情報の利用により各都道府県の割合を用いることが可能である。また、各年齢階級別の死亡率は性別ではなく男女総数の数値を用いているため、性別の値に置き換えることも可能である。さらに、食品群別の食塩摂取量を計算に組み込むことができているため、米国の PRISM を参考にしてエクセルファイルで別途係数値等を計算させたうえでモデルに組み込むことを追加で検討したい。

来年度は、各都道府県の行政栄養士等が都道府県版のモデルが利用できるようインタフェースを完成させる予定であり、すでに Stella Architect と互換性のある isee/Exchange というソフトを用いて試行版を作成済みである。来年度は上記の課題についてモデルを改善するとともに、インタフェースを作成して、マニュアル等を整備する予定である。

E. 結論

減塩の介入に関する全国版シミュレーションモデルをもとに、都道府県版シミュレーションモデルを作成した。全国版の係数値を維持した上で、主要な変数の値を全国値から都道府県値に置換した。一例として東京都のシミュレーション結果をみると、全国版の係数値を使用した基本シナリオに比べて、減塩食品利用促進シナリオにおいて、さらに減塩食品改質シナリオにおいて高血圧や循環器疾患の有病者数が少なく、これらの疾患に関連する医療費や介護費も少ない値で推移する可能性が示された。

F. 研究発表

1. 論文発表

Hassan FA, Nishi N, Minato N, Sugiyama T, Ikeda N. Health and Economic Effects of Salt Reduction Interventions for Preventing Noncommunicable Diseases

in Japan: A System Dynamics Simulation Study. *Systems* 2024, 12, 478.

2. 学会発表

Hassan FA, Minato N, Sugiyama T, Nishi N, Ikeda N. Impacts of Salt Intake Reduction Interventions on Medical and Long-term Care Costs in Japan. 42nd International System Dynamics Conference. Bergen, Norway, August 6, 2024.

西 信雄, ファティン・アミナ・ビンティ・ハッサン, 湊 宣明, 五領田小百合, 杉山雄大, 高橋 裕, 池田奈由. 減塩の公衆衛生学的評価及び医療経済学的評価のための都道府県版モデル作成の取組. JSDカンファレンス2024, 新潟市, 新潟国際情報大学, 2024年8月26日.

ファティン・アミナ・ビンティ・ハッサン, 湊 宣明, 杉山雄大, 三浦克之, 西 信雄, 池田奈由. System Dynamics Model of the Health and Cost Effects of Salt Reduction Interventions in Japan. 第71回日本栄養改善学会学術総会, 大阪市, 大阪公立大学杉本キャンパス, 2024年9月8日.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

引用文献

- Homer J, Milstein B, Wile K, Pratibhu P, Farris R, Orenstein DR. Modeling the local dynamics of cardiovascular health: risk factors, context, and capacity. *Prev Chronic Dis.* 2008;5(2):A63.
- Hassan FA, Nishi N, Minato N, Sugiyama T, Ikeda N. Health and Economic Effects of Salt Reduction Interventions for Preventing Noncommunicable Diseases in Japan: A System Dynamics Simulation Study. *Systems.* 2024; 12(11):478.
- 厚生労働省. 平成24年 国民健康・栄養調査 報告 <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyu/h24-houkoku.html> (2025年2月10日アクセス可能)
- 西 信雄: 国家レベルの減塩に関するシミュレーションモデル. システムダイナミクス 12: 33-40, 2013.

図表

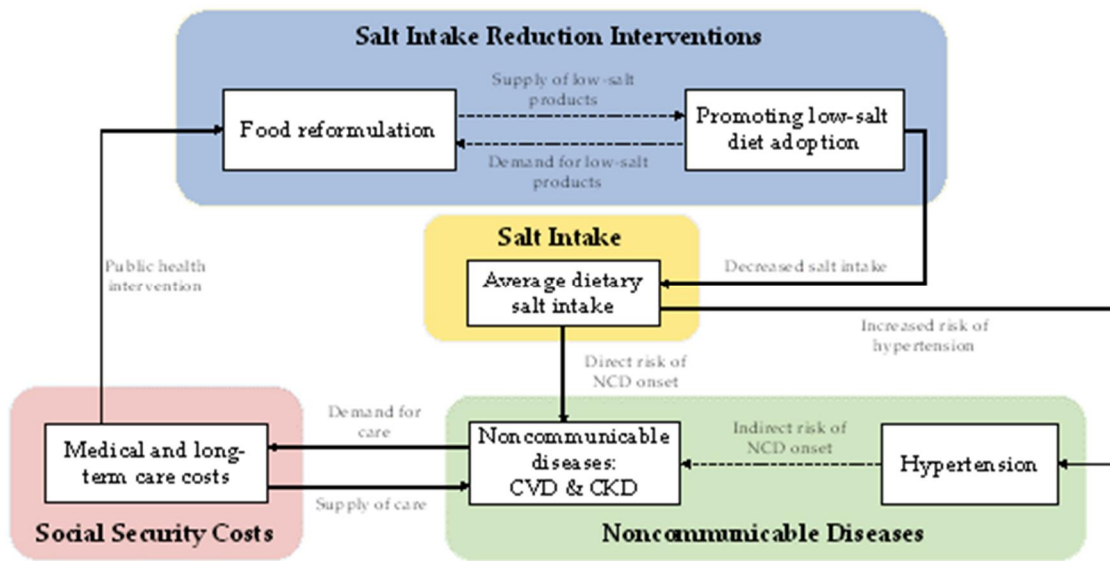


図1 減塩介入に関するモデル全体の概要図

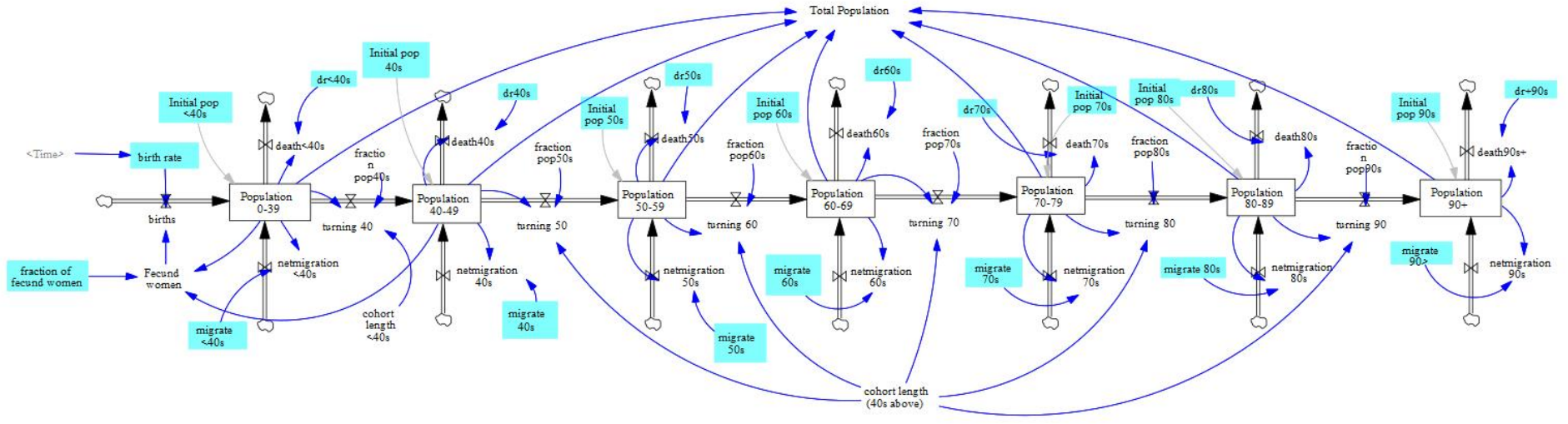


図2 一般人口モデル（水色マーカーは都道府県値に置換した変数）

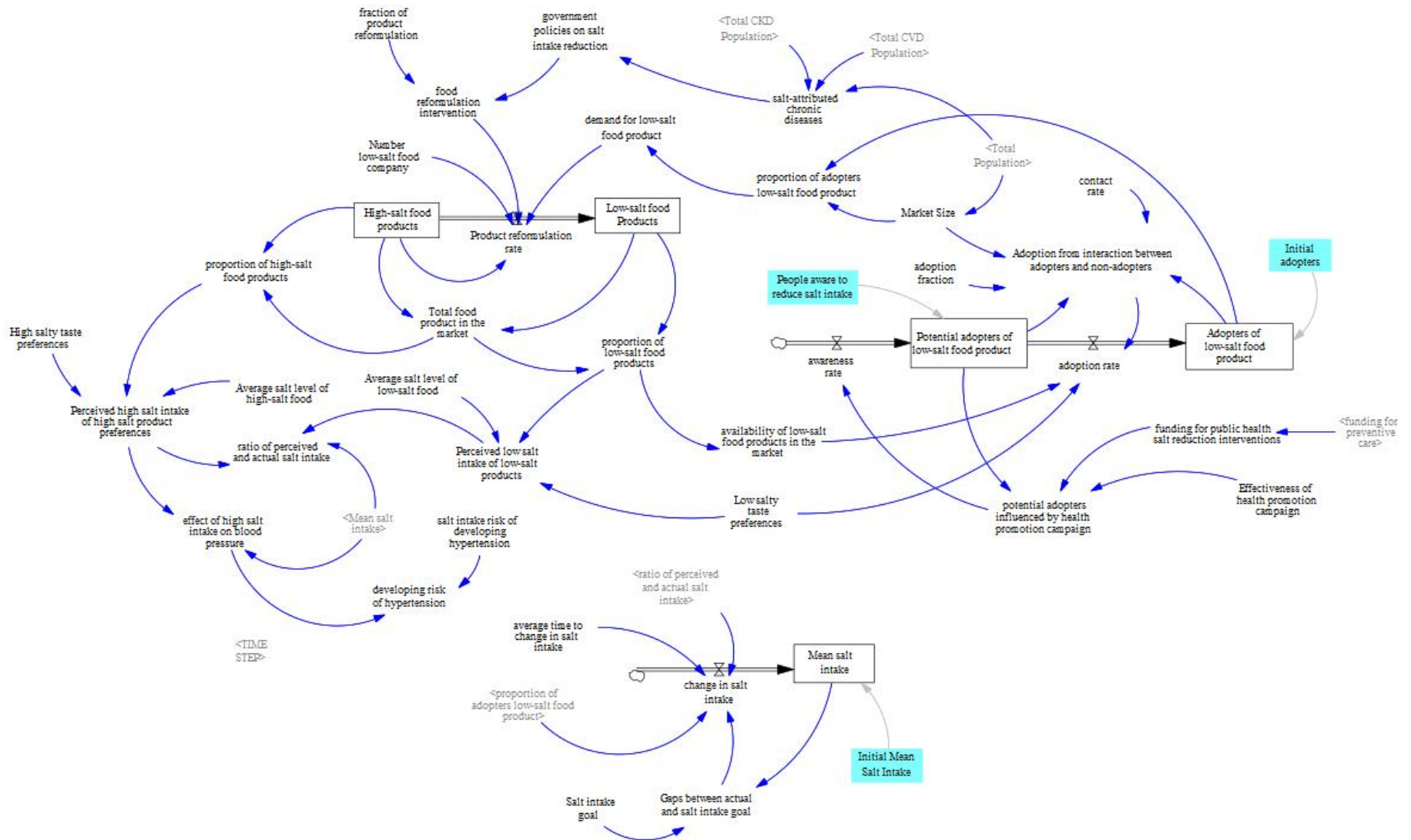


図3 食塩摂取量モデルおよび減塩介入モデル（水色マーカーは都道府県値に置換した変数）

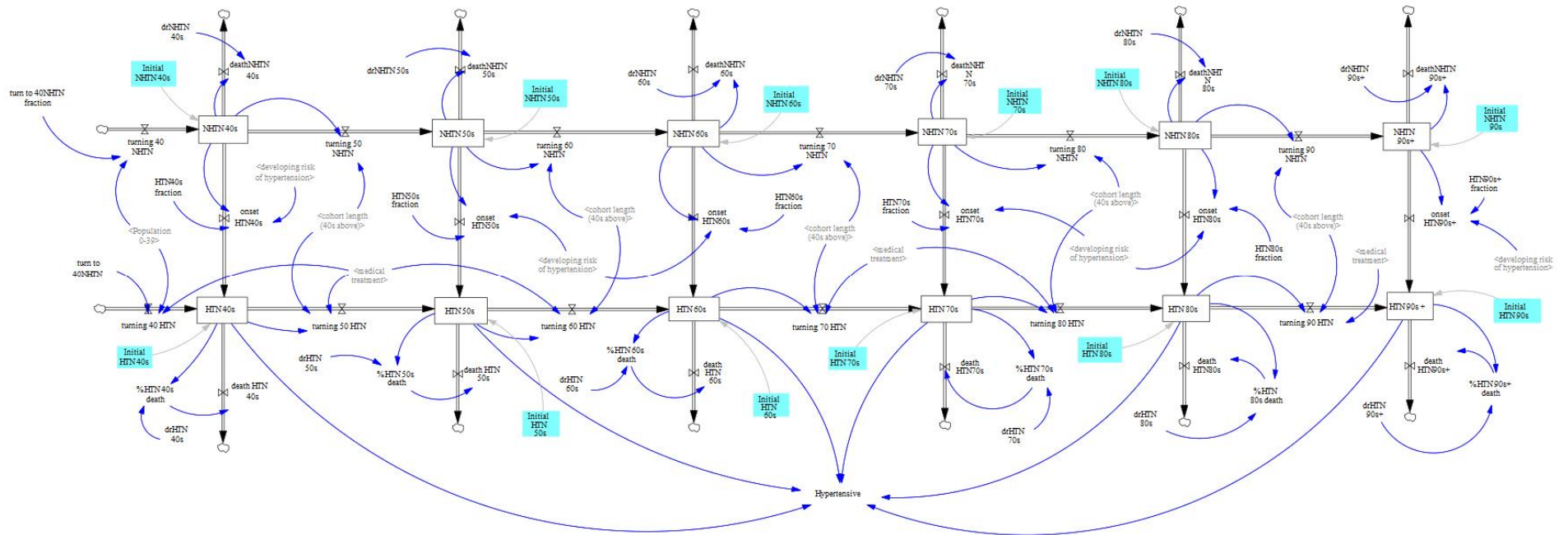


図4 慢性疾患モデル-高血圧サブモデル (水色マーカーは都道府県値に置換した変数)

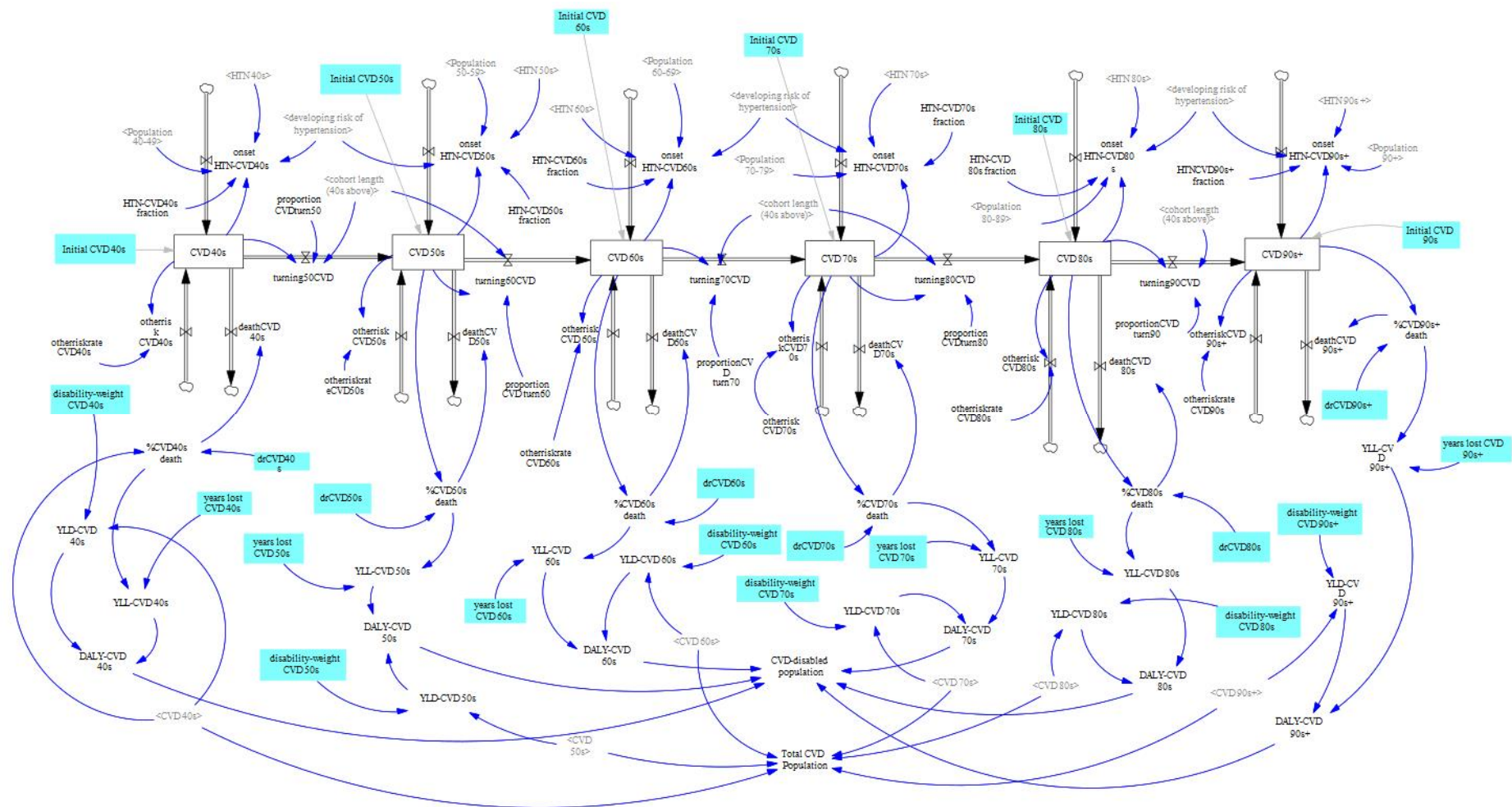


図5 慢性疾患モデルーCVDモデル（水色マーカーは都道府県値に置換した変数）

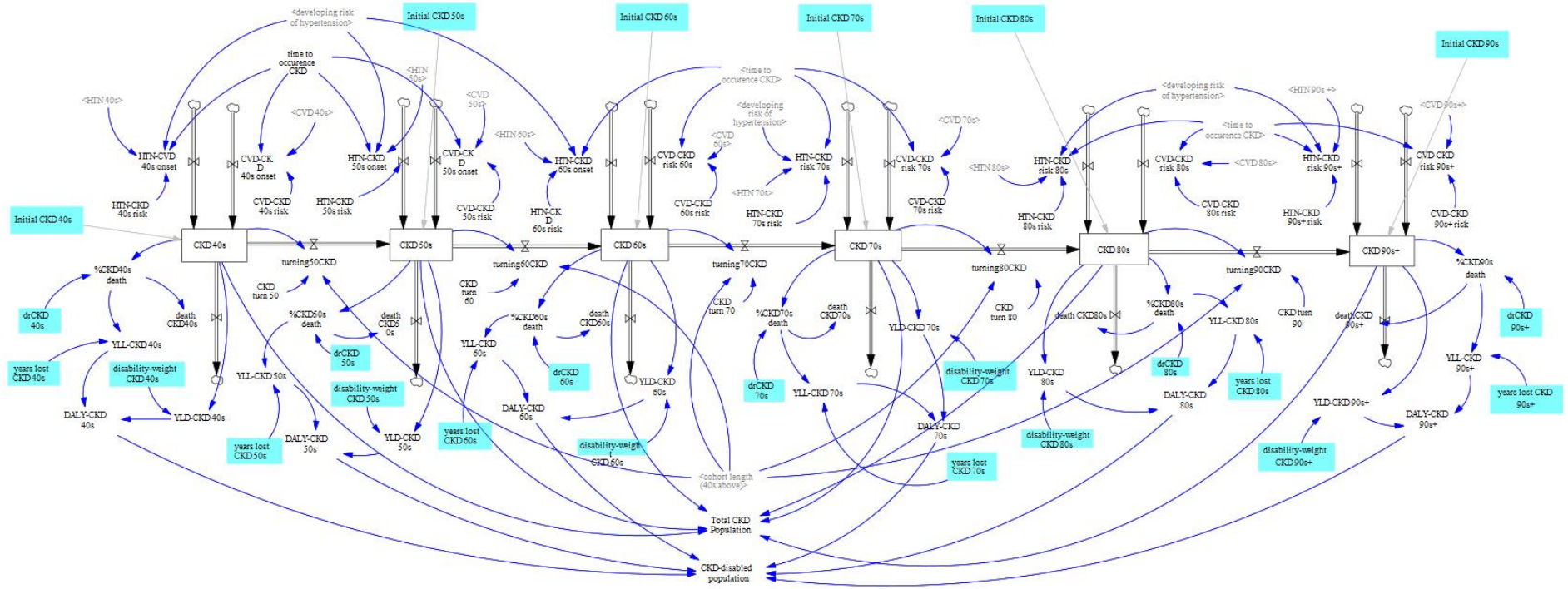


図6 慢性疾患モデル—CKD モデル（水色マーカーは都道府県値に置換した変数）

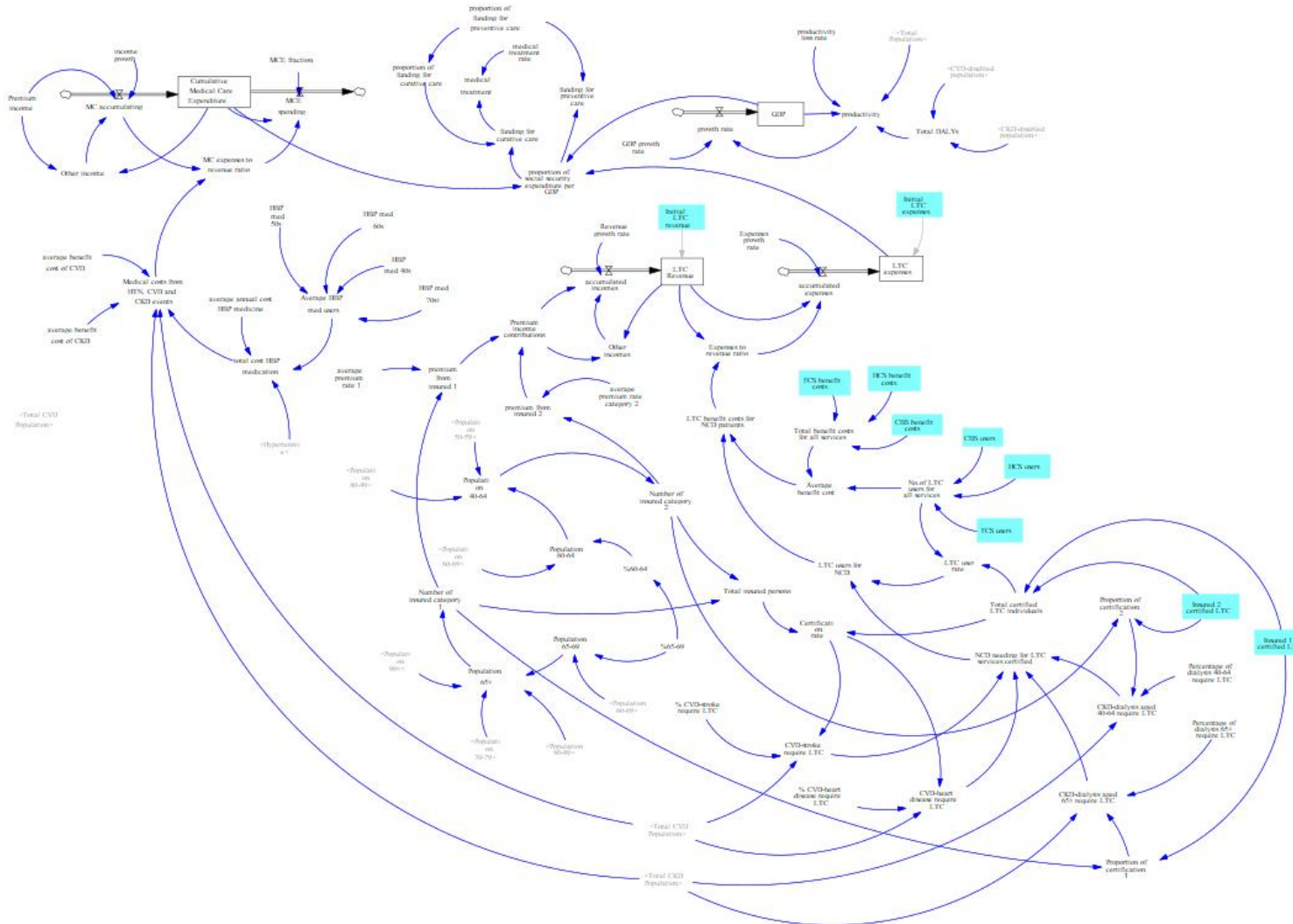


図7 医療費・介護費モデル（水色マーカーは都道府県値に置換した変数）

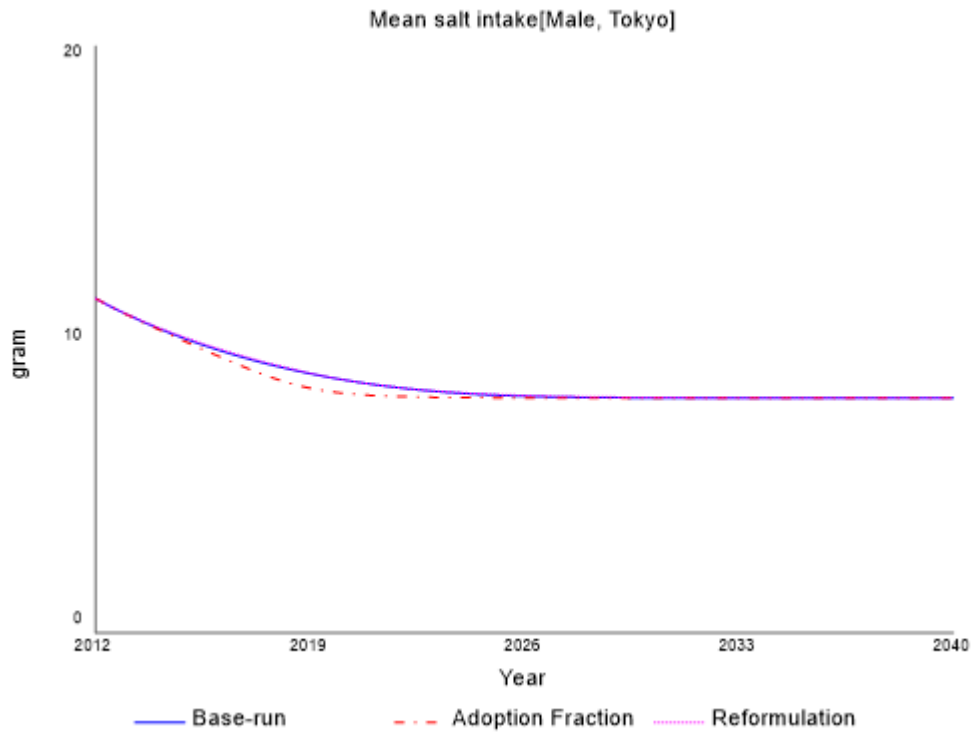


図 8-1 食塩摂取量のシナリオ別シミュレーション結果（男性、東京都）

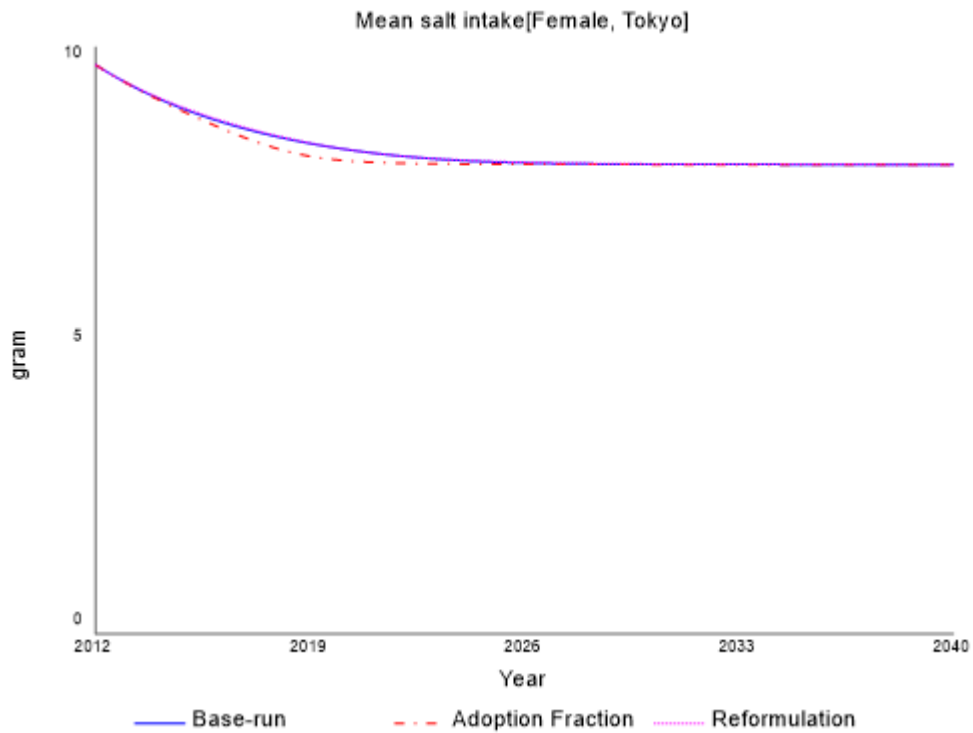


図 8-2 食塩摂取量のシナリオ別シミュレーション結果（女性、東京都）

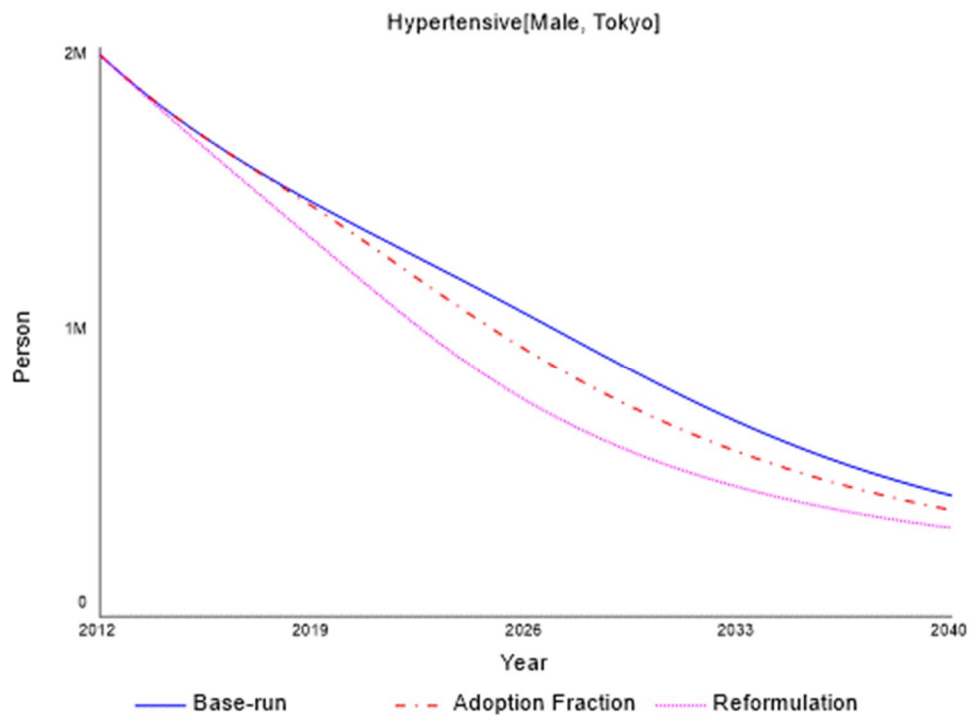


図 9-1 高血圧有病者数のシナリオ別シミュレーション結果（男性、東京都）

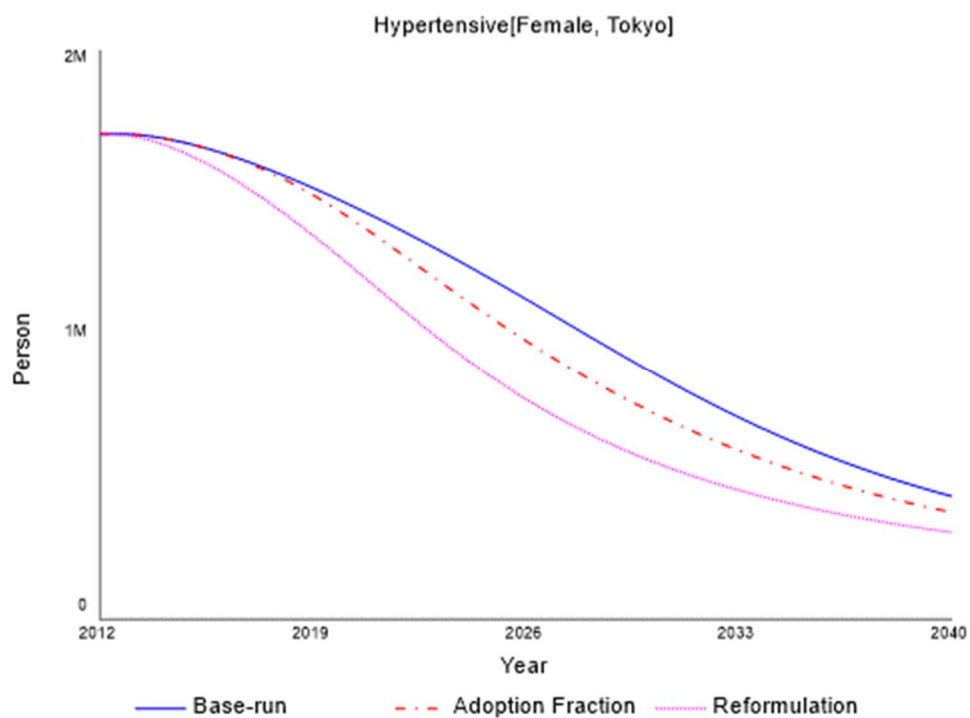


図 9-2 高血圧有病者数のシナリオ別シミュレーション結果（女性、東京都）

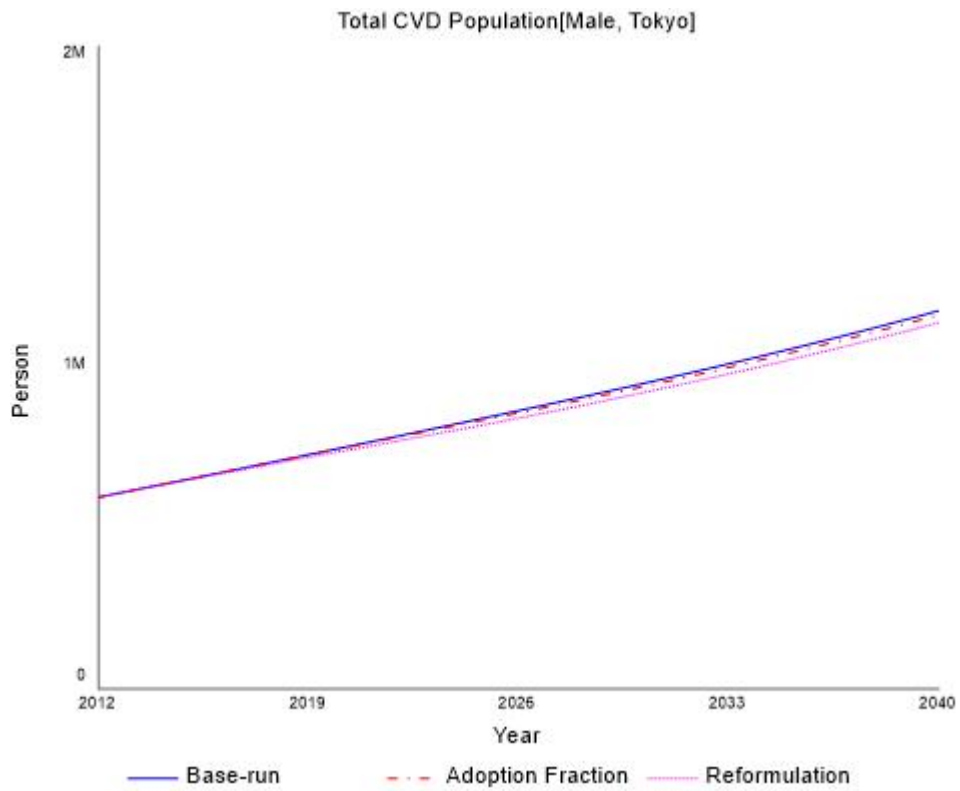


図 10-1 CVD 総有病者数のシナリオ別シミュレーション結果（男性、東京都）

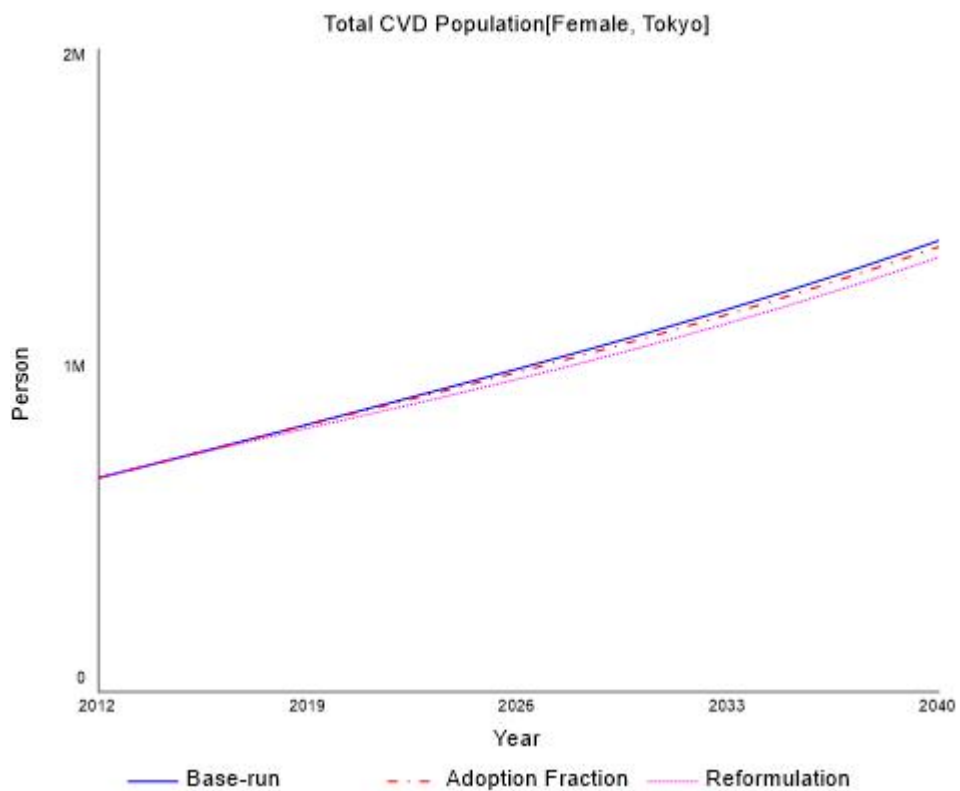


図 10-2 CVD 総有病者数のシナリオ別シミュレーション結果（女性、東京都）

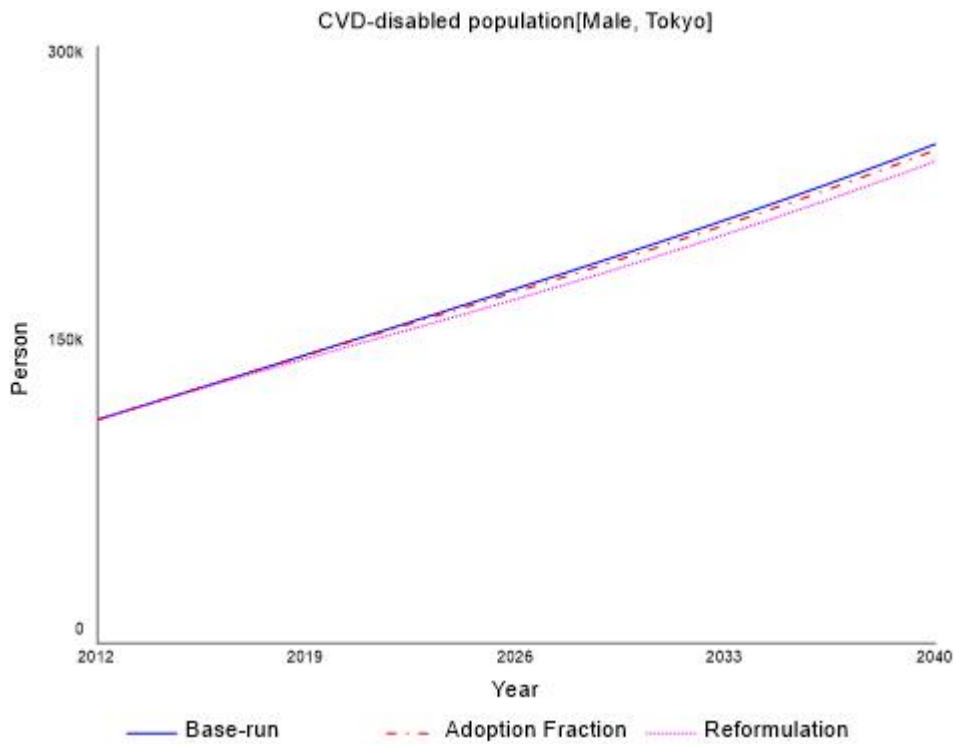


図 11-1 CVD による障害者数のシナリオ別シミュレーション結果（男性、東京都）

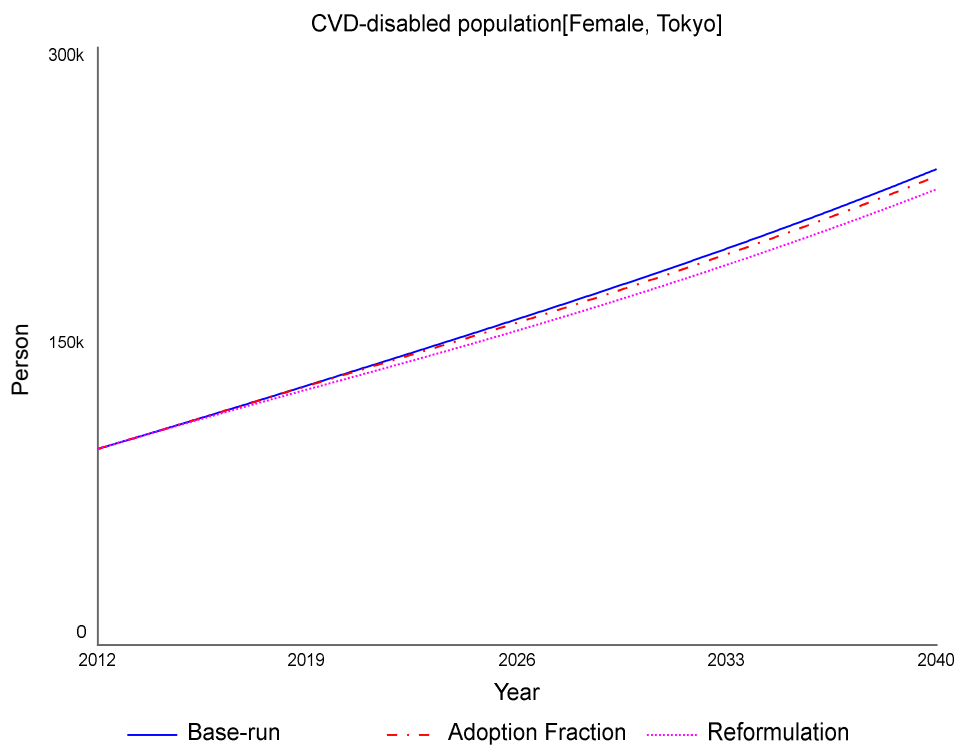


図 11-2 CVD による障害者数のシナリオ別シミュレーション結果（女性、東京都）

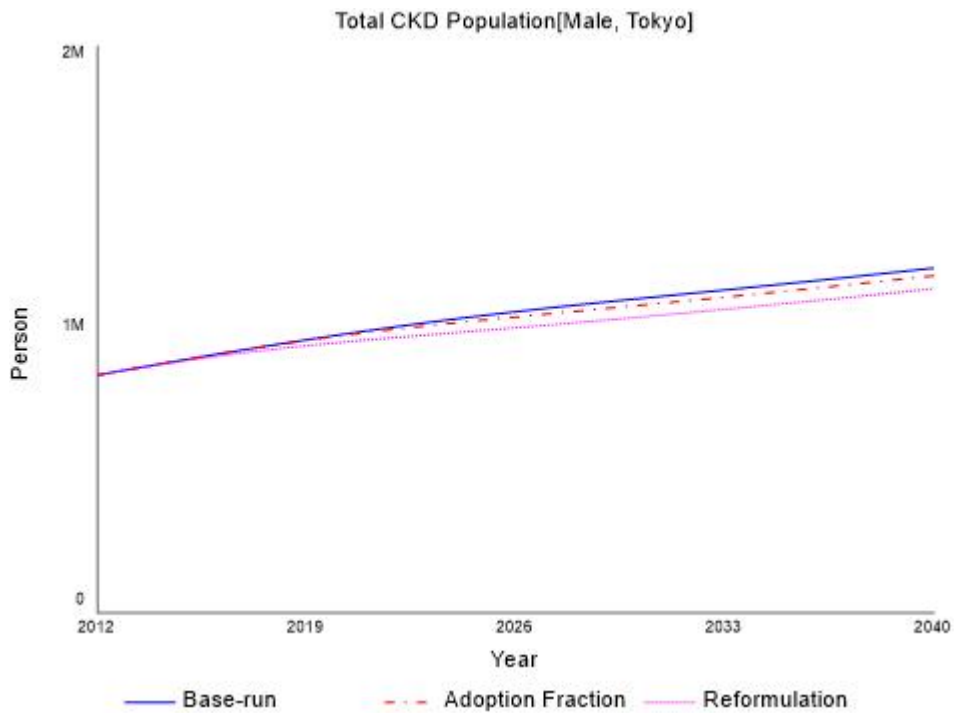


図 12-1 CKD 総有病者数のシナリオ別シミュレーション結果（男性、東京都）

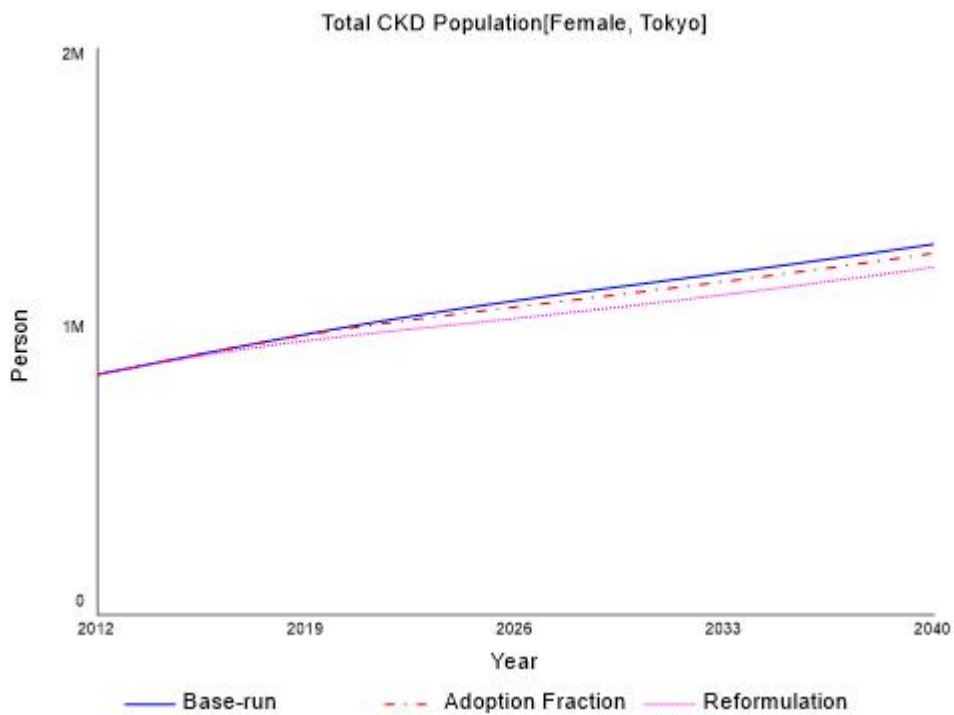


図 12-2 CKD 総有病者数のシナリオ別シミュレーション結果（女性、東京都）

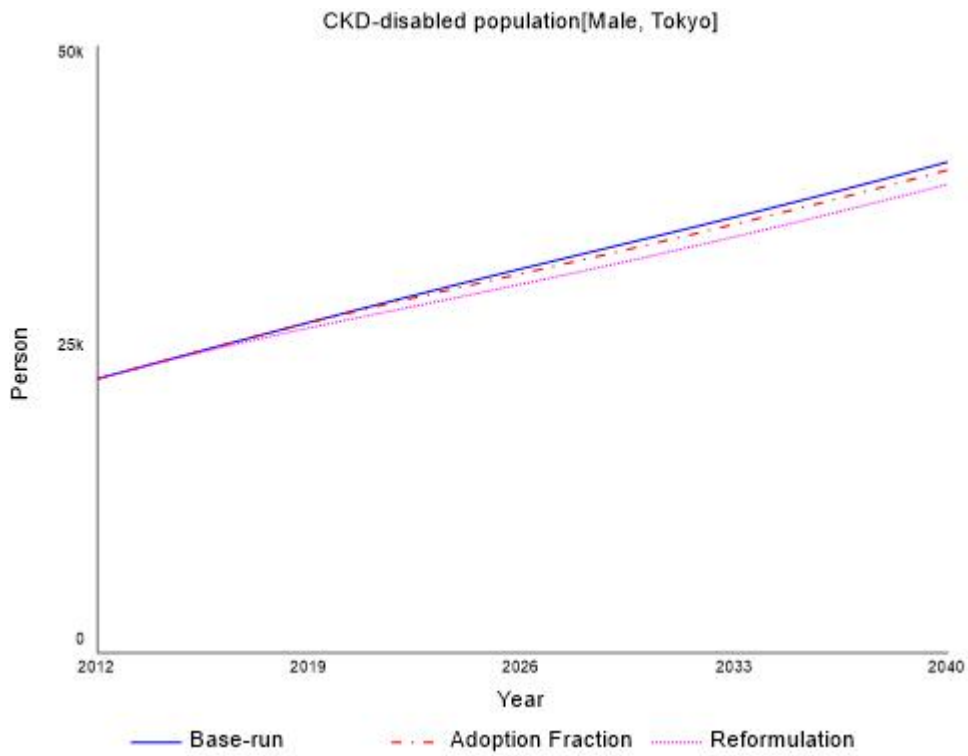


図 13-1 CKD による障害者数のシナリオ別シミュレーション結果（男性、東京都）

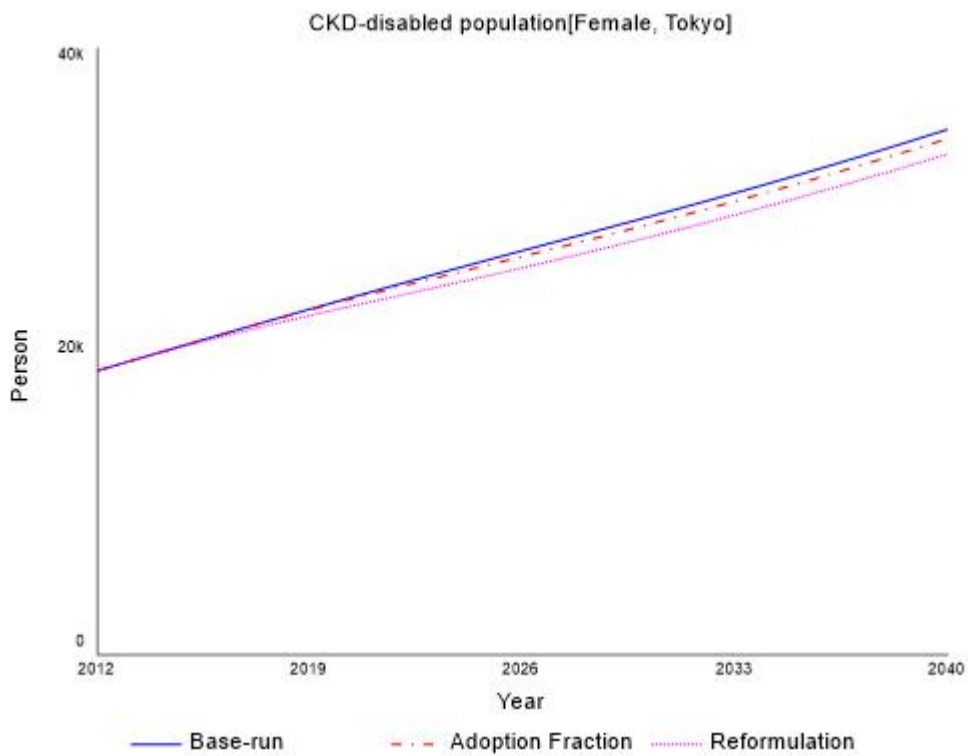


図 13-2 CKD による障害者数のシナリオ別シミュレーション結果（女性、東京都）

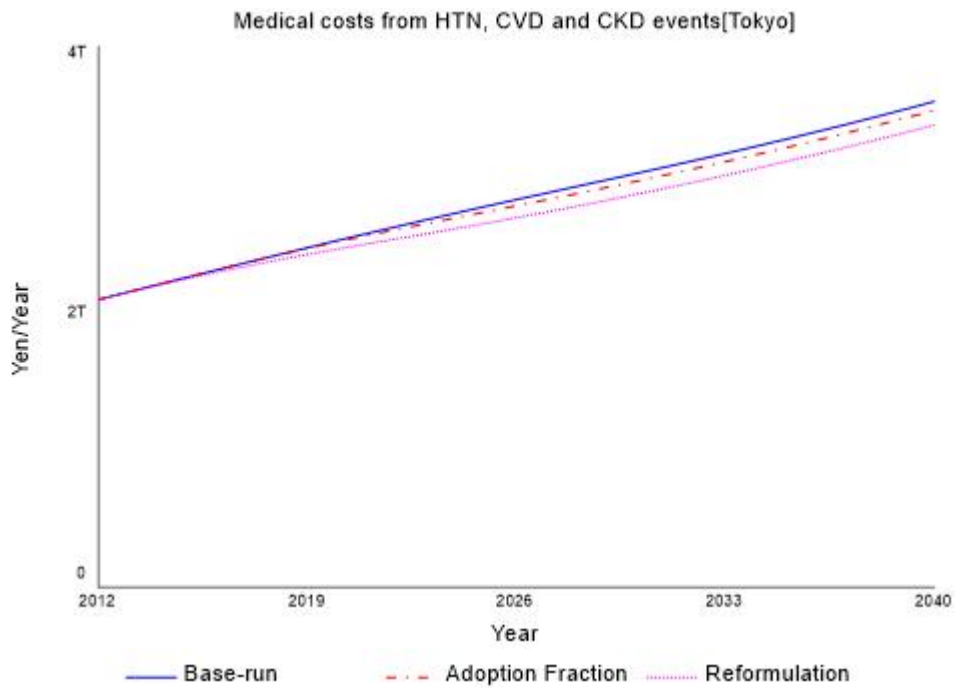


図 14 高血圧、CVD、CKD による医療費のシナリオ別シミュレーション結果（東京都）

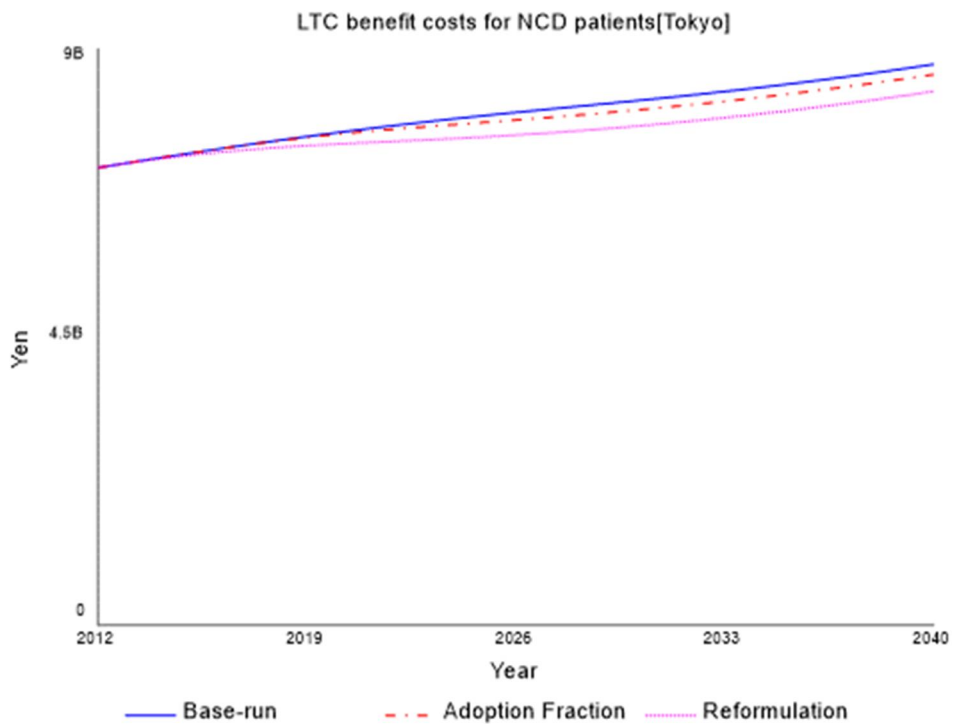


図 15 高血圧、CVD、CKD による介護給付費のシナリオ別シミュレーション結果（東京都）