

食事摂取基準との比較により集団としての栄養素摂取量の適切性を 評価するための方法に関する研究 ～個人内／個人間分散比の外挿に関する検討～

研究分担者	横山 徹爾	(国立保健医療科学院生涯健康研究部)
	横道 洋司	(山梨大学大学院医学域社会医学講座)
	石川 みどり	(国立保健医療科学院生涯健康研究部)
	吉池 信男	(青森県立保健大学健康科学部栄養学科)

研究要旨

食事摂取基準を活用し、食事改善を目的として集団の食事摂取状態の評価を行うためには、当該集団において測定された栄養素等の習慣的な摂取量の分布を、推定平均必要量や目標量等と比較する必要がある。本分担研究では、栄養素等の習慣的な摂取量の分布を年齢別に推定する統計学的理論 AGEVAR MODE を応用して、他の調査の個人内／個人間分散比を外挿することの妥当性をクロス・バリデーションによって検討し、既存のいくつかの複数日調査の個人内／個人間分散比をメタ・アナリシスの手法を用いて統合し、統合分散比を国民健康・栄養調査に外挿して習慣的な摂取量の分布を推定し、食事摂取基準との比較を試みた。計算に用いた複数日調査は、青森県、山梨県、宮崎県、熊本県の国内各地で行われた6つの調査であり、分散比の変動に対して習慣的な摂取量の分布の変動は比較的小さい(分散比の変動に対して頑健である)ため、国民健康・栄養調査への外挿もある程度は可能と思われる。また、計算プログラムと見える化ツールも作成した。

A. 研究目的

食事摂取基準を活用し、食事改善を目的として集団の食事摂取状態の評価を行うためには、当該集団において測定された“習慣的な”栄養素等の摂取量の分布を、推定平均必要量や目標量等と比較する必要がある。また、食事摂取基準の多くの指標は性・年齢階級別に値が策定されており、栄養素摂取量も性・年齢階級によって異なるため、性・年齢階級別に評価を行うことが望まれる。栄養素等の習慣的な摂取量の分布を年齢別に推定する統計学的理論 AGEVAR MODE¹⁾ を用いれば、性・年齢別の特徴を

高い精度で視覚的に評価しやすいように「見える化」することが可能だが、栄養素等摂取量の個人間変動を把握するための複数日の食事調査データが必要であり、1日調査である現行の国民健康・栄養調査にはそのままでは応用できない。しかし、いくつかの県における地域健康・栄養調査では、国民健康・栄養調査方式による食事調査を複数日に渡って実施しており、これらの調査で把握された栄養素等摂取量の個人間変動が、国民健康・栄養調査での個人間変動と大きく異ならないと仮定して外挿することで、国民健康・栄養調査結果から習慣的

な摂取量の分布を推定することが計算原理的には可能である。実際に米国国民健康栄養調査 NHANES 2011-2014 のデータを用いて同様の検討を行った研究報告²⁾もある。

本分担研究では、既存の複数日調査の個人内/個人間分散比の情報を用いて、国民健康・栄養調査結果から性・年齢別に習慣的な摂取量の分布を推定し、食事摂取基準との比較を行う方法を開発することを目的とする。

B. 方法

以下の手順により、AGEVAR MODE を用いて、既存の複数日調査の個人内/個人間分散比を性・年齢別に推定し、メタ・アナリシスの手法を用いて統合し、統合した分散比を国民健康・栄養調査に外挿して習慣的な摂取量の分布を得る。なお、既存の複数日調査としては、3県の4調査および研究分担者・吉池の2調査（吉池の分担研究報告書参照）、計6調査のデータを必要な手続きを経て利用した。

AGEVAR MODE は、個体*i*の*j*日目の栄養素等摂取量を正規分布に近似するように変換した値を x_{ij} 、年齢を Age_i として、

$$x_{ij} = a + b \times Age_i^p + c \times Age_j^q + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad \dots (1) \text{ または}$$

$$x_{ij} = a + b \times Age_i^p + c \times Age_j^q \times \log(Age_i) + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad \dots (2)$$

$$\alpha_i \sim N(0, \exp(\beta_{b0} + \beta_{b1} \times Age_i))$$

$$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \exp(\beta_{w0} + \beta_{w1} \times Age_i))$$

というモデルで表し、習慣的な摂取量の分布を推定する方法である¹⁾。ここで、 α_i は個人*i*の習慣的な摂取量を表し、その個人差（個人間変動）を表す分散は $V_b = \exp(\beta_{b0} + \beta_{b1} \times Age_i)$ である。 ε_{ij} は個人*i*の摂取量の日間変動（個人内変動）を表し、その分散は $V_w = \exp(\beta_{w0} + \beta_{w1} \times Age_i)$ であ

る。

実際の計算には SAS の proc nlmixed を用いる。例えば、年齢を age、栄養素（Box-Cox 変換で正規化した値）を nut、個人識別番号を id、べき数を p, q に与えてから、(2)のモデルの場合は以下のようにパラメータを推定した。詳細なプログラムは web 上に掲載する。

```
proc nlmixed;
  yi=a+b*(age**p)+c*(age**q)*log(age)
  +epsi;
  vw= exp(vw0+vwbeta*age);
  vb= exp(vb0+vbbeta*age);
  model nut~normal(yi,vw);
  random epsi~normal(0,vb) subject=id;
run;
```

1日調査である国民健康・栄養調査の年齢別の摂取量の平均と分散 V は同様に栄養素の値を正規化したうえで以下のように推定した。

```
proc nlmixed;
  yi=a+b*(age**p)+c*(age**q)*log(age);
  v= exp(v0+vbeta*age);
  model nut~normal(yi,v);
run;
```

1日調査では個人間変動と個人内変動を推定することはできないが、1日調査で観察される摂取量の分散 V は、個人間変動 V_b と個人内変動 V_w の和であるから、既存の複数日調査から得られた個人内/個人間分散比 $R_{w/b}^*$ を外挿すれば、 V_b と V_w を推定することが可能である²⁾。すなわち、

$$V_b = V / (R_{w/b}^* + 1)$$

$$V_w = V - V_b$$

である。

既存の複数日調査から得られる個人内/個人間分散比は調査によって異なるため、一般的なメタ・アナリシスの手法を用いて個人内/個人間分散比の統合を行った。

AGEVAR MODE のモデルにおいて、個人内／個人間分散比は、

$$\frac{\exp(\beta_{w0} + \beta_{w1} \times Age_i)}{\exp(\beta_{b0} + \beta_{b1} \times Age_i)} = \exp((\beta_{w0} + \beta_{w1} \times Age_i) - (\beta_{b0} + \beta_{b1} \times Age_i))$$

であり、各複数日調査で推定された $(\beta_{w0} + \beta_{w1} \times Age_i) - (\beta_{b0} + \beta_{b1} \times Age_i)$ を、推定値の分散の逆数で重み付け平均して指数変換することで $R_{w/b}^*$ の統合値とした。また、Q 検定により各調査の分散比の均一性を検定した。

個人内・個人間変動および分布のパーセントイル曲線の信頼区間の推定、検定等は、パラメータの推定値と分散・共分散に基づいて行った。

これらにより正規化したスケールでの年齢別習慣的な摂取量の分布を推定し、さらにバイアス補正したうえで逆変換を行い、最終的に元のスケールでの性・年齢別の習慣的な摂取量の分布を得た。これと食事摂取基準の値を比較し、EAR カットポイント法を用いて不足者等の割合を計算した。

また、他の調査の分散比を国民健康・栄養調査に外挿することの妥当性は、クロス・バリデーションにより検討した(図1)。

図1. Cross-Validationによる妥当性の検討原理

食事調査A, B, Cはいずれも複数日調査

調査Aについて

調査A自身の分散比を使って習慣的摂取量の分布を推定
調査BとCの分散比を使って習慣的摂取量の分布を推定 }比較

調査Bについて

調査B自身の分散比を使って習慣的摂取量の分布を推定
調査CとAの分散比を使って習慣的摂取量の分布を推定 }比較

調査Cについて

調査C自身の分散比を使って習慣的摂取量の分布を推定
調査AとBの分散比を使って習慣的摂取量の分布を推定 }比較

これらの比較がよく一致していれば、国民健康・栄養調査について、自身の分散比は不明だが、他の調査の分散比を使って習慣的摂取量の分布を推定してもよく一致するはず。

C. 結果

クロス・バリデーションの結果を図2に示す。調査A～Cは調査自体の分散比を用いた場合と他調査の分散比を用いた場合で、比較的近いパーセントイル曲線になってい

る。分散比の標準誤差が非常に大きい調査DとEは食い違いが大きい。

主な栄養素の年齢別個人内／個人間分散比(男性)を図3に示す。「統合(不均一)」は各調査の分散比が有意に不均一(Q検定で $P < 0.05$)、「統合(均一)」は同様に有意でない場合、標準誤差は固定効果(均一)の場合の値、点線は各調査の分散比である。人数が非常に少ない調査では分散比の推定値が極端な値をとることがあり、その標準誤差は非常に大きかった。

図4は、分散比の統合値を国民健康・栄養調査に外挿して推定した習慣的な摂取量の分布と食事摂取基準を比較した例である。1日調査に比べて習慣的な摂取量の分布の幅は小さい。たんぱく質が推定平均必要量未満の者の割合は少なく、食塩の目標量を超えている者は8割以上であり、脂肪エネルギー比率は目標量上限以上の者は若年層で多く下限未満の者は高齢層で多く見える。

個人内／個人間分散比の詳細な数値表(男性、女性)と、それを国民健康・栄養調査に外挿して習慣的な摂取量の分布を推定するプログラムと見える化ツール等は、下記に掲載する。

<https://www.niph.go.jp/soshiki/07shougai/datakatsuyou/>

D. 考察

複数日の食事調査に基づいて栄養素の習慣的な摂取量を推定する方法には、AGEVAR MODE 法の他に、National Research Council (NRC)法³⁾、Best-Power (BP)法^{4, 5)}、Iowa State University (ISU)法^{4, 5)}などがあるが、いずれも性・年齢階級別に分けて分析を行うと各階級の人数が少なくなるため、分布の推定誤差が大きくなるという問題点があった。また、栄養素の習慣的な摂取量の平均値が年齢によって

変化するとみなした AGE MODE 法⁶⁾では、年齢によって個人内分散・個人間分散が変化する状況を扱うことができなかった。これらを改良した AGEVAR MODE 法では、年齢階級別に習慣的な摂取量の分布を推定する場合に推定誤差を小さくすることが可能である。さらに、他の複数日調査により推定された個人内/個人間分散を外挿することが妥当ならば、1日調査である国民健康・栄養調査でも習慣的な摂取量の分布を推定し、食事摂取基準の活用可能性が高まると考えられる。

本研究では、6つの複数日調査データを用いて、メタ・アナリシスの手法を用いて分散比を統合し、この統合分散比を国民健康・栄養調査に外挿して習慣的な摂取量の分布を推定した。その際、統合分散比にバイアスが小さいことが結果が妥当であるために重要である²⁾。人数が非常に少ない複数日調査では分散比の推定値が極端な値をとることがあったが、その標準誤差は非常に大きいため、分散の逆数で重み付けして推定した統合分散比への影響は小さい。Q検定により調査間で分散比が均一でない栄養素・年齢層があり、特にその場合の統合分散比を外挿することの解釈には注意を要する。

クロス・バリデーションにより、個人内/個人間分散比を他の調査に外挿することの妥当性を検討したところ、男性のたんぱく質では、分散比が極端な外れ値をとる調査では、自身の分散比を用いた場合との食い違いが大きかったが、これらの調査では自身の分散比の標準誤差が極端に大きいため、むしろ他調査の分散比を用いて推定した習慣的な摂取量の分布の方が、現実的な値のように思われる。

計算に用いた6つの複数日調査は、青森

県、山梨県、宮崎県、熊本県の各地で行われたものであり、また、分散比の変動に対して習慣的な摂取量の分布の変動は比較的小さい(分散比の変動に対して頑健である)ため、国民健康・栄養調査への外挿もある程度は可能と思われる。

E. 結論

AGEVAR MODE を応用して、既存の複数日調査の個人内/個人間分散比をメタ・アナリシスの手法を用いて統合し、他の調査の個人内/個人間分散比を外挿することの妥当性をクロス・バリデーションによって検討し、統合した分散比を、国民健康・栄養調査に外挿して習慣的な摂取量の分布を推定し、食事摂取基準との比較を行う方法を開発し、計算プログラムと見える化ツールも作成した。これらの方法で、国民健康・栄養調査から習慣的な摂取量を推定することも、栄養素・年齢によってはある程度は可能と思われる。

F. 健康危機情報

なし。

G. 研究発表

なし。

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし。

【参考文献】

1. Yokomichi H, et al. An improved statistical method to estimate usual intake distribution of nutrients by age group. *J Nutr Food Sci* 2013; 3: 2.
2. Luo H, et al. A New Statistical Method for Estimating Usual Intakes of Nearly-Daily Consumed Foods and

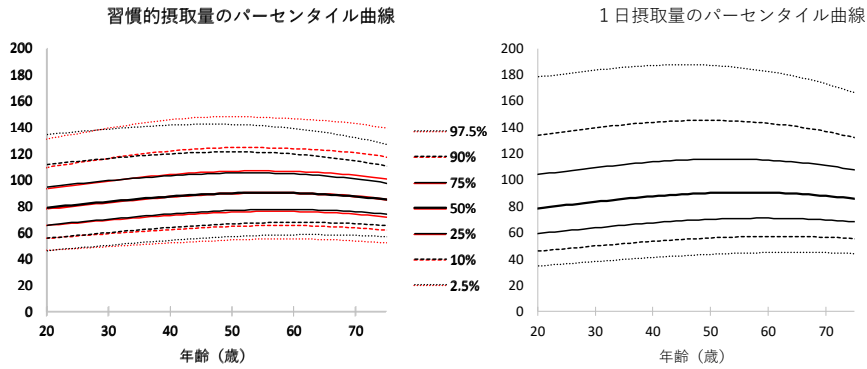
- Nutrients Through Use of Only One 24-hour Dietary Recall. *The Journal of Nutrition*. 2019;149(9):1667–1673.
3. National Research Council, Subcommittee on Criteria for Dietary Evaluation: Nutrient Adequacy: Assessment Using Food Consumption Surveys (1986) National Academy Press, Washington, DC
 4. Subar, A.F., Kipnis, V., Midthune, D., et al.: Statistical methods for estimating usual intake of nutrients and foods: a review of the theory, *J. Am. Diet. Assoc.*, 106, 1640-50 (2006)
 5. Nusser, S.M., Carriquiry, A.L., Dodd, K.W., Fuller, W.A.: A semiparametric transformation approach to estimating usual daily intake distributions, *J. Am. Stat. Assoc.*, 91, 1440-9 (1996)
 6. Waijers, P.M.C.M., Dekkers, A.L.M., Boer, J.M.A., et al.: The potential of AGE MODE, an age-dependent model, to estimate usual intakes and prevalences of inadequate intakes in a population, *The J. Nutr.*, 136: 2916-20, (2006)

図2. Cross-Validationによる妥当性の検討（男性・たんぱく質）

調査A 【たんぱく質】

黒線：自身の分散比を使用

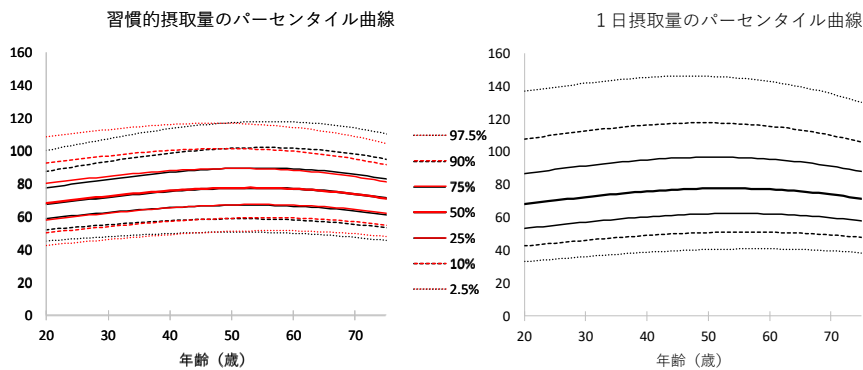
赤線：他調査（B、C、E、D）の分散比（統合値）を使用



調査B 【たんぱく質】

黒線：自身の分散比を使用

赤線：他調査（A、C、E、D）の分散比（統合値）を使用



調査C 【たんぱく質】

黒線：自身の分散比を使用

赤線：他調査（A、B、E、D）の分散比（統合値）を使用

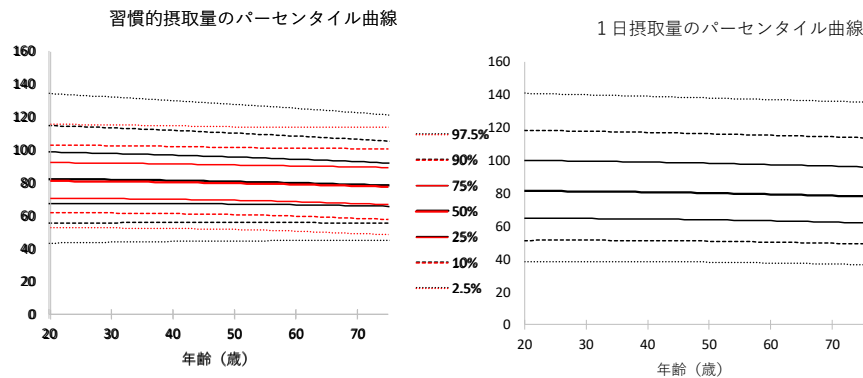
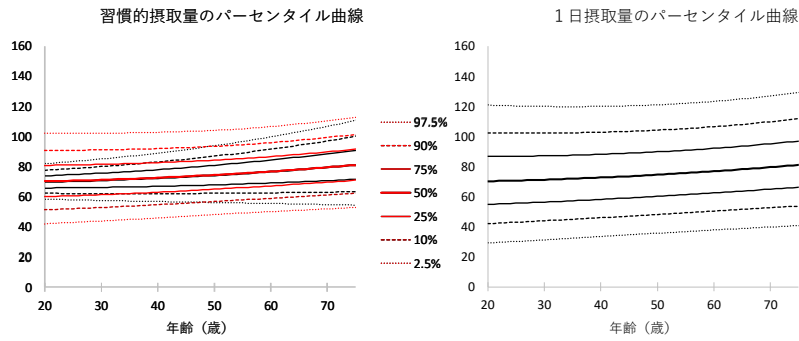


図 2. Cross-Validation による妥当性の検討（男性・たんぱく質）（続き）

調査 D 【たんぱく質】

黒線：自身の分散比を使用

赤線：他調査（A、B、C、E）の分散比（統合値）を使用



調査 E 【たんぱく質】

黒線：自身の分散比を使用

赤線：他調査（A、B、C、D）の分散比（統合値）を使用

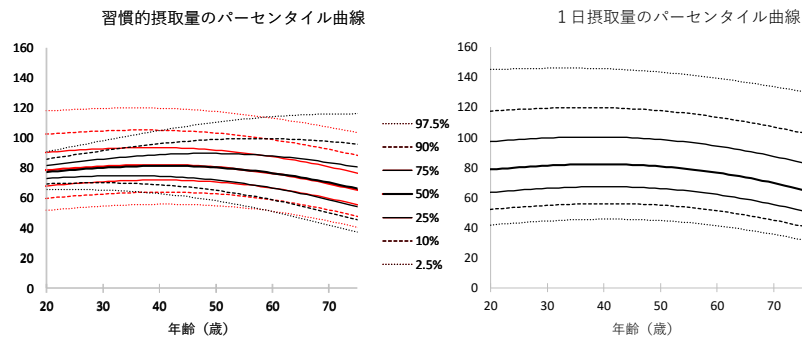


図3. 6つの複数日調査による個人内／個人間分散比とその統合値

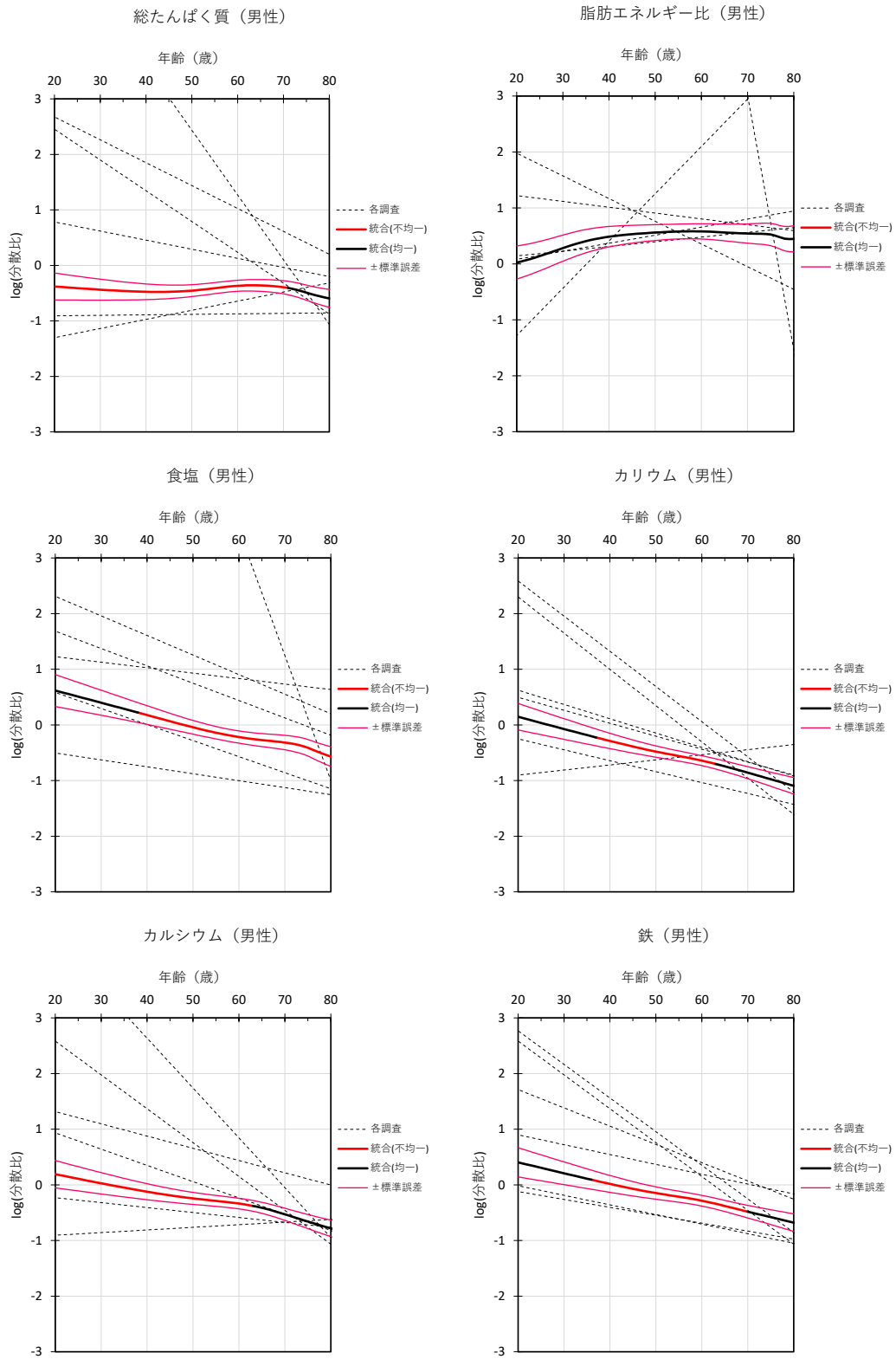


図3. (続き)

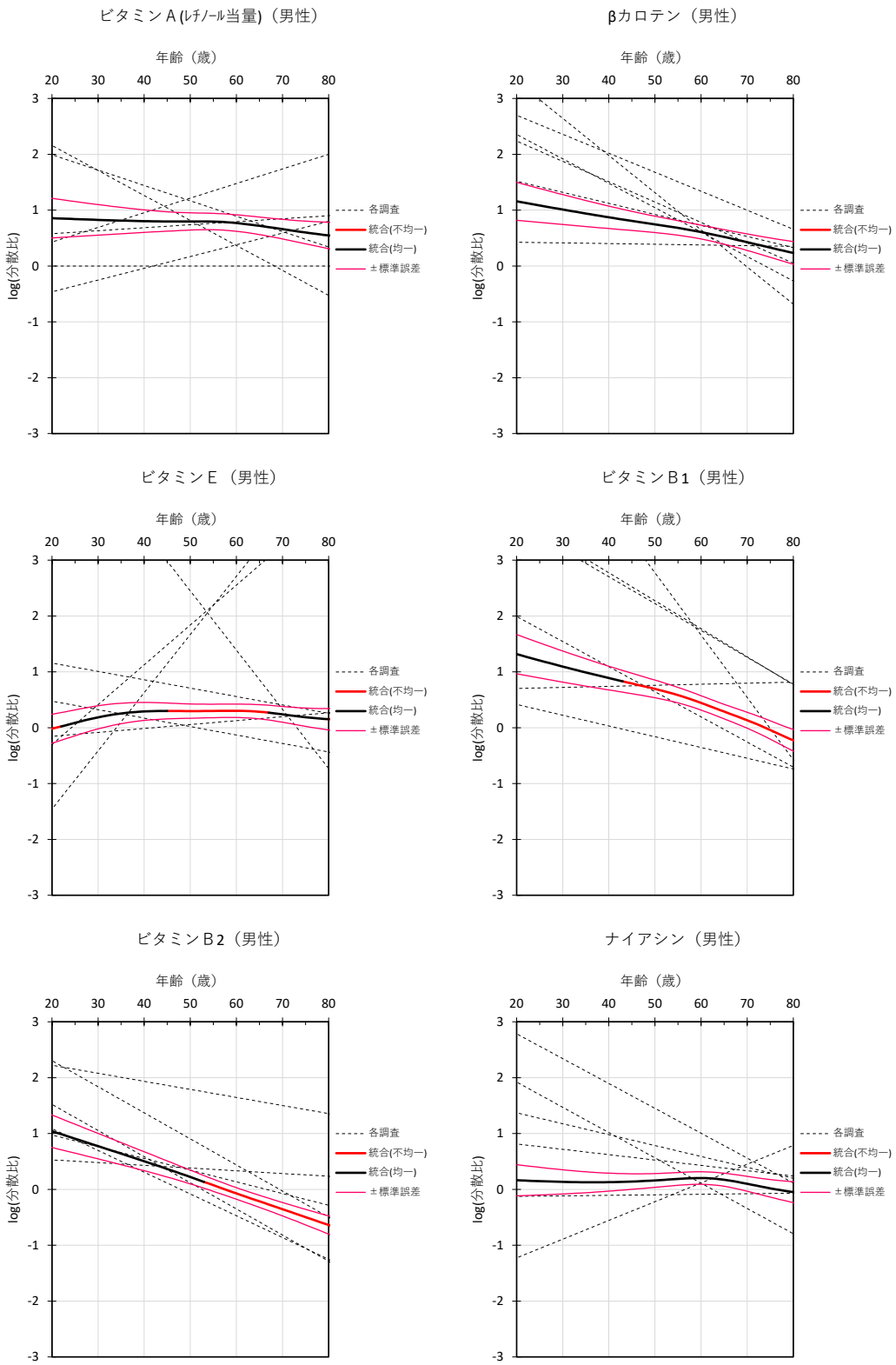


図3. (続き)

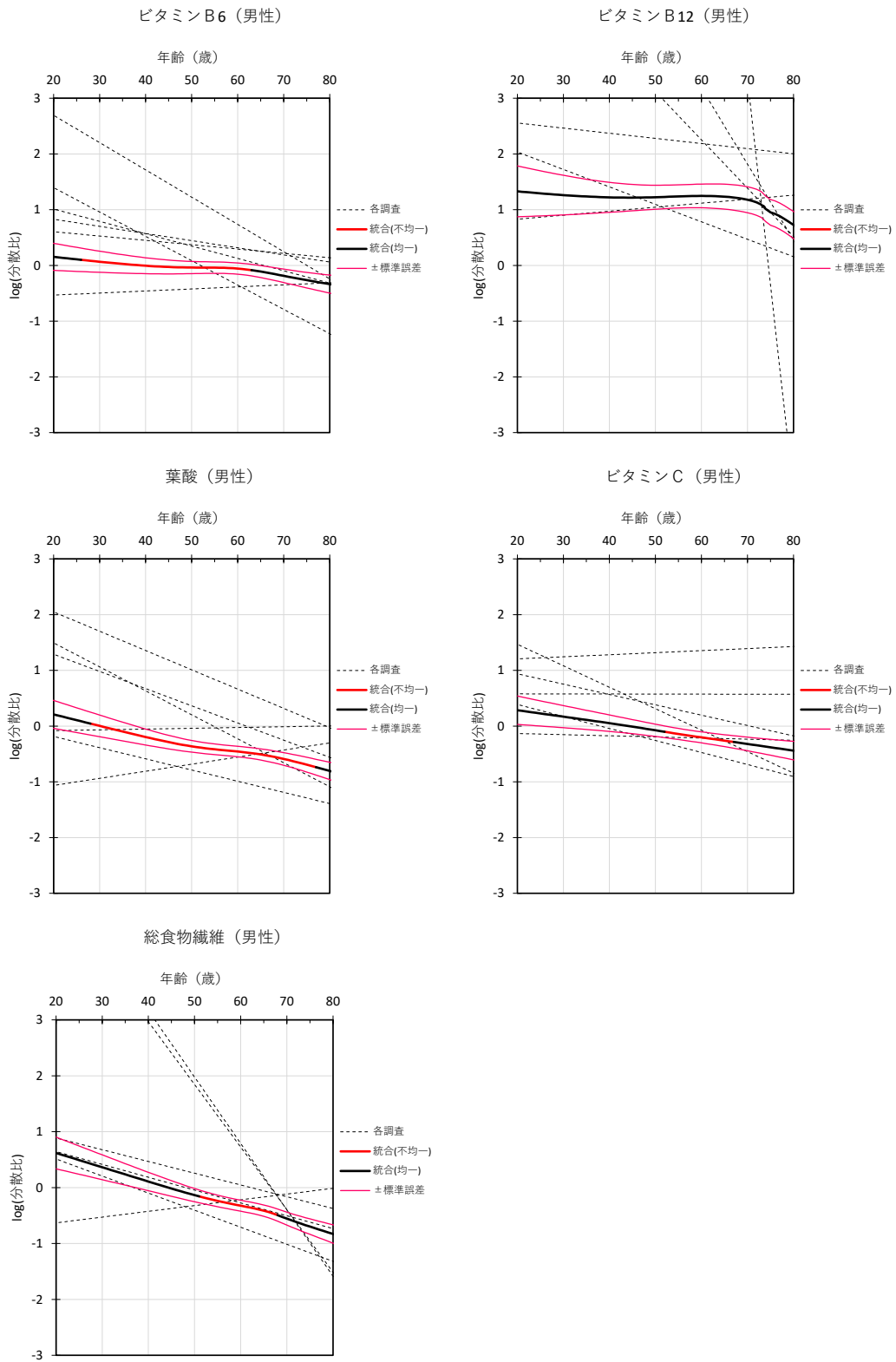
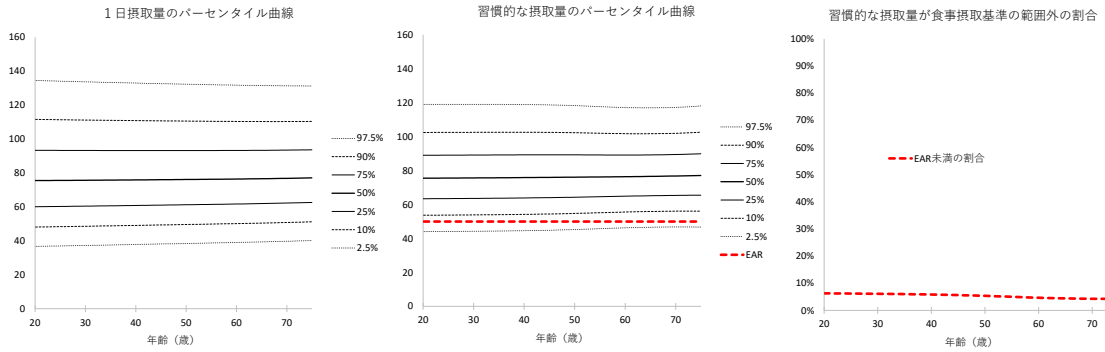
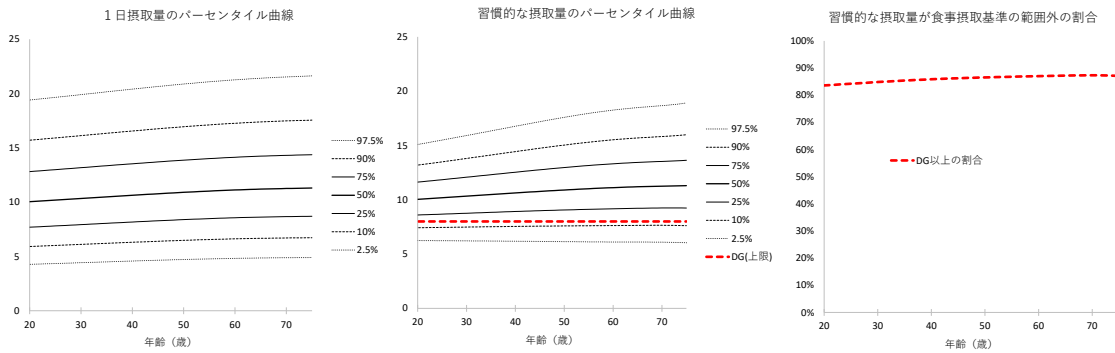


図4. 他調査の分散比の外挿により国民健康・栄養調査で習慣的な摂取量の分布を推定し食事摂取基準との比較を試行した例
(平成25年国民健康・栄養調査)

たんぱく質（男性）



食塩（男性）



脂肪エネルギー比率（男性）

