

特定地域の損失余命計算システム構築とその応用

徳弘龍太郎 市川学 出口弘（東京工業大学）

Development of The Loss of Life Expectancy System in Specific Area

*R. Tokuhiko, M. Ichikawa and H. Deguchi (Tokyo Institute of Technology)

概要—「損失余命」という尺度は、リスクを定量化することで環境リスクや交通事故などの様々な異種のリスク比較を可能とし、規制や公共事業に対する費用対効果の分析を容易にする。蒲生らは平均的な日本人が受けている様々な種類の化学物質によるリスクの大きさを損失余命として評価している。しかし、地域特性に応じた規制や公共事業の際は地域内の固定発生源から排出された化学物質のリスク評価を行うことが重要であるとされる。そこで、本研究では、地域の特性を考慮した有害物質の分布情報から、人口動態を踏まえた上で、自治体別の損失余命計算を行う。そして、これらの計算結果を用いることにより、実際の自治体で行われる規制や、公共事業での費用に対する便益評価を行う。

キーワード: 損失余命, 人口動態, 費用便益分析

1 研究背景

社会活動の一環で、健康や安全性の向上を目的として規制や公共事業などが実施されている。そこでは国民の理解を得るため、合理性、効率性、透明性の高い客観的な評価が求められる。それ故、政策評価に関して、事前評価及び事後評価は有効であるといえる。事前評価とは、規制によって発生する効果や負担を予測し、それを評価するものである¹⁾。一方、事後評価は政策の効果を把握・分析し、評価をおこなうことにより、次の企画立案や実施に役立てるものである²⁾。これら政策の事前、事後評価による合理的なリスク管理や利害関係者への説明責任を満たすため、道具の一つとして社会経済分析が用いられる。

社会経済分析の1つである「損失余命」という尺度は有害物質への曝露によって死亡の年齢が早まることを、生存期間の期待値の減少を表現するリスクの定量化の1つの分析尺度である。リスクを定量化することで化学物質によるリスクや交通事故などの様々な異種のリスク比較を可能とし、規制や公共事業に対する費用対効果の分析を容易とする³⁾。その中、蒲生ら⁴⁾は平均的な日本人が受けている様々な種類の化学物質によるリスクの大きさを損失余命として評価している。

ここでの環境リスクとは、化学物質が環境を經由して人にリスクを及ぼす曝露経路であり、主に、大気からの呼吸、飲食物・水からの食物摂取、化学物質製品からの皮膚接触が考えられる。その中、食物摂取、皮膚接触による曝露については、それぞれが広域的に流通したり移動するものによるものからの曝露のため、地域内だけで対策を講じるリスク管理を行うことが極めて難しい。そのため、地域の特性に応じた環境リスクの低減策を検討する際、地域内の固定発生源から排出された化学物質による大気からの曝露に着目してリスク評価を行うことが重要であるとされている⁵⁾。

これらを考慮した際、蒲生ら⁴⁾の評価はあくまで日本における平均的な各有害物質の分布からの損失余命の評価であり、実際の地域特性に応じたリスク評価ではない。様々な有害物質の詳細なリスク評価の必要性を示したものであり、自治体別の規制や公共事業を実施する際、地域の特性を考慮した有害物質の分布情報の詳細なリスク評価は必要だと考えられる。

2 研究目的

本研究では、地域内の固定発生源から排出された化学物質による大気からの曝露に着目し、損失余命を用いた自治体別の規制や公共事業での費用に対する便益評価を行う。損失余命を求める際、地域の特性を考慮した有害物質の分布情報のみならず、地域別の死亡率や年齢構成の差異を踏まえる。これにより、単なる地域人口のみを乗じた損失余命による評価ではなく、有害物質による年齢別の感受性を考慮した評価を行う。さらには、地域への転入や転出にともなう曝露期間を考慮することにより、より地域特性を把握した評価が可能であると考えられる。これらの人口動態を踏まえた曝露を考慮することにより、有害物質濃度の差異とは異なった地域の何かしらの特徴を把握可能なモデルの作成を行う。また実測値ではなく、有害物質濃度のシミュレーションを行うことで、費用便益分析時に損失余命に基づいた排出量削減のシナリオ分析を行い、効率のよい削減地域の選択が可能であると考え、本研究の目指すところである。

3 関連研究との立ち位置

真田ら⁶⁾は実測値による平均SPM濃度から横浜市での区別の損失余命を計算し、分析を行っている。全体的に年平均SPM濃度が上がるに連れ損失余命も大きくなるような結果であったがパラつきが大きい結果を示した。これは、横浜市での区別の死亡率や年齢構成による違いであると考えられ、我が国の大都市圏における、粒子状大気汚染による損失余命の地域的な違いは期待余命の違いを説明するほど大きくないことを示している。つまり、ここでの結果によれば、地域での損失余命の影響はその地域での年齢構成等による死亡率に大きく依存する可能性を示唆していると言える。

そこで、本研究では関連研究とは異なり、固定発生源からの地域特性を踏まえた化学物質質量に加え、年齢構成や男女構成の地域様でも考慮する。つまり、有害物質料の地域性、曝露を被る人の地域性の2点を考慮するのである。また、実測値ではなく、有害物質濃度をシミュレーションを行うことで費用便益分析時に損失余命に基づいた排出量削減のシナリオ分析を行い、現在の損失余命だけではなく、今後被る可能性のある損失余命の計算及び分析を行う。

4 研究手法

本節では、研究手法を述べる。研究対象地域に対し、Fig.1 に示すモデル概要図により損失余命計算システムを構築し評価及び分析を行う。

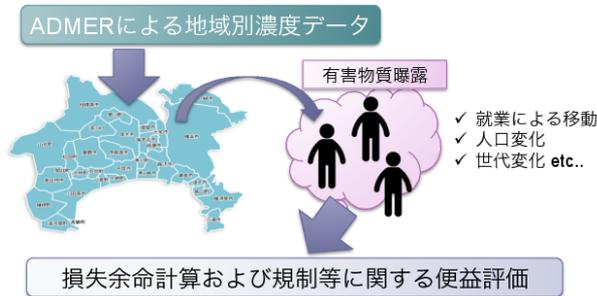


Fig. 1: 研究モデル概要図

4.1 有害物質曝露モデル

ここでは有害物質の大気中濃度および、曝露量について述べる。

4.1.1 有害物質濃度データ

本研究では、大気拡散モデル ADMER⁷⁾ を用いて地域別の有害物質のシミュレーションを行う。ADMERとはPRTR データ（環境リスクを考える際に重要な化学物質の排出・移動情報を国が集計し公表したデータ：市区町村別の有害物質排出量を示している）及び、アメダスデータを加工した気象データを入力データとし、地域別の有害物質濃度を計算するモデルである。本研究ではケーススタディとして発ガン性物質の1つであるベンゼンを計算対象とする。なお、今回は2010年度のPRTR データによる市区町村別排出量及び2010年度アメダスデータを用いた。事業所の時間別排出量の割合は、0時-4時：4時-8時：8時-12時：12時-16時：16時-20時：20時-24時 = 0：0：1：1：1：0と仮定する。この排出量から ADMER による大気拡散シミュレーションを行う。なお、計算された結果は4時間毎の濃度データで表される。これらの時間別濃度データを次節で示す曝露モデルで使用する。

4.1.2 就業者による曝露モデル

現段階の構想モデルでは、神奈川県横浜市に在住する住民、特に通勤・通学による就業者に対して計算を行う。ここでの就業者をエージェントとする。この際、通勤・通学によるエージェントの移動及び呼吸を考慮し、以下のようにルールを定義する。

本モデルは就業者（エージェント）が各々の呼吸によって有害物質を吸引するものとしており、資料¹⁰⁾によれば日本人男女平均呼吸率（1日に吸入する空気量）は $17.3 \text{ m}^3/\text{日}$ であり、呼吸量は行動によって異なる（例えば睡眠と安らかな横臥は $0.37 \text{ m}^3/\text{h}$ 、速やかな歩行は $1.93 \text{ m}^3/\text{h}$ など）。¹⁰⁾では活動による呼吸率区分が6つで表されるが本モデルでは便宜的に1日の行動を3つに区分して考えることとする。今回は0時-4時、4時-8時を睡眠時として考え呼吸率を $0.37 \text{ m}^3/\text{h}$ 、8時-12時、12時-16時、16時-20時を活動中と定義し呼吸率を $0.91 \text{ m}^3/\text{h}$ 、20時-24時を休憩中と定義し呼吸率を $0.60 \text{ m}^3/\text{h}$ とした。Table 1 に設定したアクティビティと呼吸率の対応表を示す。

Table 1: 呼吸率設定値

activity	呼吸率 m^3/h	対応時間
睡眠中	0.37	0時-4時, 4時-8時
活動中	0.91	8時-12時, 12時-16時, 16時-20時
休憩中	0.6	20時-24時

これらを1日の行動として考えた呼吸率の1日の合計は $16.28 \text{ m}^3/\text{日}$ と日本人男女平均呼吸率の $17.3 \text{ m}^3/\text{日}$ と比べ僅かに少ない値となっているため、曝露量計算時に値に $17.3/16.28$ の1.06を乗じるものとした。さらにある時刻 a 時の就業者（エージェント）の存在する市区町村を b とした場合の地域濃度を $ab(\text{g}/\text{m}^3)$ としたうえで、各行動の継続時間を $activity(h)$ とした時（activity は睡眠中、活動中、休憩中のいずれか）、各活動の曝露量 睡眠中(g)、活動中(g)、休憩中(g)を以下の(1)、(2)、(3)式ように設定する。なおここで使用したエージェントの移動を示す統計データ⁸⁾⁹⁾は横浜市各区の在住就業者が、各々どの数で神奈川県内の市区町村、または県外を就業地としているかを示したものである。本研究では、神奈川県の有害物質濃度が与える損失余命を求めることから、県外での曝露量は0とした。つまり、県外を就業地とする人は睡眠、及び休憩中の時のみ曝露を受けるということになる。

$$\text{睡眠中}(g) = 0.37 \times 1.06 \times \text{睡眠中}(h) \times ab(\text{g}/\text{m}^3) \quad (1)$$

$$\text{活動中}(g) = 0.91 \times 1.06 \times \text{活動中}(h) \times ab(\text{g}/\text{m}^3) \quad (2)$$

$$\text{休憩中}(g) = 0.60 \times 1.06 \times \text{休憩中}(h) \times ab(\text{g}/\text{m}^3) \quad (3)$$

また $\text{睡眠中}(h) + \text{活動中}(h) + \text{休憩中}(h) = 24(h)$ として1エージェントの一日の総曝露量 $Xg/\text{日}$ を(4)式として定める。

$$X_{g/\text{日}} = \text{睡眠中}(g) + \text{活動中}(g) + \text{休憩中}(g) \quad (4)$$

4.2 発ガン性物質の損失余命計算

前節では、あらゆる物質に対する汎用性のある曝露モデルであった。しかし、人体に与える影響とりわけ損失余命を計算する際、物質の特徴を考慮したモデルでなければならない。なぜなら、発ガン性物質の特徴として、曝露量に比例して死亡率が上昇する一方で、非発ガン性物質には影響が発生するまで曝露量の閾値が存在するなど明確な物質の差異が存在するためである。その中、本章では発ガン性物質の損失余命計算モデルについて述べる。

4.2.1 発ガンスロープファクタの使用

発ガン物質の損失余命計算にあたり、発ガンスロープファクタ¹¹⁾を使用する。仮にベンゼンを計算対象とした際のベンゼンの発ガンスロープファクタとはベンゼンの発ガン毒性の強さと言い換えることが出来る。体重 1 kg あたり毎日 1 mg のベンゼンを摂取した場合の発ガンリスクの増加を表し、 $1.5 \times 10^{-2} \sim 5.5 \times 10^{-2}/(\text{mg}/\text{kg}/\text{日})$ (中央値は $3.5 \times 10^{-2}/(\text{mg}/\text{kg}/\text{日})$) の値を用いた（物質によってこの値が異なる）。またベンゼンの人の呼吸経路による吸収率を50%とし、曝露モデルによる一日のベンゼン吸入量を $Xg/\text{日}$ とすると

ば、ベンゼンの発ガンスロープファクタを用いると生涯発ガンリスク n は以下の (5) 式で計算される。なお、今回日本人成人平均体重を 63kg とした。また、(5) 式で下線がある項は物質によって異なる。

$$n = X_{(g/\text{日})} \times 0.5 \times 10^3 \times \frac{3.5 \times 10^{-2}}{(mg/kg/\text{日})} \div 63_{(kg)} \quad (5)$$

(4) 式の 10^3 は g を mg 変換しているものである。また、ここでの生涯発ガンリスクとは集団に対してある有害物質に 0 歳から生涯曝露させた時、0 歳から死亡までの間にガンになる人数のことを指す。例) 生涯発ガンリスクが 10 万分の 1 であるとすると、それは 10 万人の集団があった時、その集団全員が死亡するまでの間にガンになる人は 1 人である。

ここで求めた各就業者に対する生涯発ガンリスク n を次節で示す損失余命計算モデルに代入し損失余命を算出を行う。

4.2.2 発がん性物質の損失余命計算モデル

今回用いるモデルは蒲生ら¹²⁾によって表現された生命表を用いた発がん性物質を対象とした損失余命換算法をもとにしたものである。本モデルは統計データによる平均余命から曝露を受けた平均余命を差し引いて発がん性物質による損失余命を導くものである。

4.2.3 モデル内変数

x : 年齢を表す。男性、女性ともに 0~105 歳をとるものとし、年齢の上限は平成 23 年度簡易生命表¹³⁾による。

$\mu(x)$: x 歳での 10 万にあたりガンの死亡人数 (x 歳のガン死亡率) 人口動態統計年報¹⁴⁾のデータを使用。

$\Delta\mu(x)$: x 歳での 10 万にあたり過剰に曝露を受けた人のガン死亡人数 (x 歳の曝露ガン死亡率) 本研究では曝露モデルによる曝露量を過剰曝露と表現することとする。

${}_0(x)$: x 歳での 10 万にあたり全死因死亡人数 (x 歳の死亡率) 平成 23 年度簡易生命表によるデータ¹³⁾を使用。

(x) : x 歳での過剰に曝露を受けた 10 万にあたり全死因死亡人数 (x 歳の曝露死亡率)。本研究では曝露モデルによる曝露量を過剰曝露と表現することとする。これは ${}_0(x)$ に $\Delta\mu(x)$ を上乘せすることで得られる。

$$(x) = {}_0(x) + \Delta\mu(x) \quad (6)$$

$s_0(x)$: 10 万にあたり x 歳時の生存数。つまり $s_0(0)=10$ 万人、さらには $s_0(x)$ は $s_0(x-1)$ と ${}_0(x-1)$ により求められる。

$$s_0(x) = s_0(x-1) \times (1 - {}_0(x-1)) \quad (7)$$

$s(x)$: 過剰に曝露を受けた 10 万人あたりの x 歳時の生存数。(2) 式と同様で以下のように示される。

$$s(x) = s(x-1) \times (1 - (x-1)) \quad (8)$$

$L_0(x)$: x 歳時での平均余命。以下の式で計算される。

$$L_0(x) = \frac{s_0(x)+s_0(105)}{2} + \sum_{y=x+1}^{104} s_0(y) \quad (9)$$

$L(x)$: 過剰に曝露を受けた時の x 歳時での平均余命。(4) 式と同様に以下の式で表される。

$$L(x) = \frac{\frac{s(x)+s(105)}{2} + \sum_{y=x+1}^{104} s(y)}{s(x)} \quad (10)$$

$LLE(x)$: 過剰曝露の結果として生じる x 歳時での損失余命。 $L_0(x)$ と $L(x)$ の差より求められる。

$$LLE(x) = L_0(x) - L(x) \quad (11)$$

$E(x)$: x 歳時での曝露の有無。以下のように設定。

$$E(x) = \begin{cases} 1 & (\text{曝露あり}) \\ 0 & (\text{曝露なし}) \end{cases} \quad (12)$$

4.2.4 計算を導くための仮定

前節で述べた変数に対して以下に示す仮定に基づいて計算モデルを導く。

- x 歳の過剰曝露ガン死亡率 ($\Delta\mu(x)$) は x 歳までに有効となる曝露の累積量に比例する。
- x 歳の過剰曝露ガン死亡率 ($\Delta\mu(x)$) は x 歳のガン死亡率 ($\mu(x)$) に比例する。
- 曝露効果は年齢によって異なり、ここでは $k(x)$ として表現する。

$k(x)$: 年齢による曝露効果の相対値 (Gofman による放射線発ガン調査結果¹⁵⁾を回帰して得られたもの)を表す。

$$k(x) = \begin{cases} e^{0.0935x} & (0 \leq x \leq 27) \\ e^{-1.98-0.0192x} & (27 < x) \end{cases} \quad (13)$$

- 曝露からの死亡率上昇までのズレを 10 年とする。

4.2.5 導かれるモデル

以上述べた 4 つの仮定を求めると、以下の式で x 歳の曝露ガン死亡率 ($\Delta\mu(x)$) が定まる。

$$\Delta\mu(x) = \begin{cases} 0 & (x < 10) \\ \times \mu(x) \times \sum_{y=10}^x (E(y-10) \times k(y-10)) & (x \geq 10) \end{cases} \quad (14)$$

は比例定数である。ここで、(9) 式で全ての年齢 x で曝露を考えたとする (生涯曝露、全ての年齢で $E(x)=1$)。その時、発ガン物質への生涯曝露の結果として、生涯の間に生じるガン死亡数 (生涯曝露ガン死亡数) を計算することが出来る。この 10 万人あたりの生涯曝露ガン死亡数 N =生涯発ガンリスク n × 10 万 とする。 N は以下の式で求められる。

$$N = \sum_{y=0}^{105} (\Delta\mu(y) \times s(y)) \quad (15)$$

(10) 式において、生涯曝露発ガン数 = 生涯曝露ガン死亡数 N = 生涯発ガンリスク n × 10 万 であるため、 $N=1$ とすれば 10 万人に 1 人の生涯曝露発ガン数を生じるリスクとなる。このような (9) 式を満たす $\Delta\mu(x)$ を求めることによって、 10^{-5} の x 歳の曝露ガン死亡率 ($\Delta\mu(x)$)

が得られ、損失余命が求まる。n を物質の毒性の強さや吸入量によって変化させることで、特定の発ガン性物質の損失余命を求めることができる。また曝露期間について $E(x)=1$ 、非曝露期間について、 $E(x)=0$ とすれば、特定の期間及び年齢での曝露を表現することが可能である。本分析は 4.2.1 小節で求めた、生涯発ガンリスク n を用いて、各エージェントの損失余命を求める。

4.3 損失余命評価およびシナリオ分析

以上述べた手法によって得られた各エージェント毎の損失余命に対して、自治体に在住するエージェントの数を乗じ自治体全体の損失余命を求める。この自治体ごとの損失余命から、政策等を優先すべき自治体の選定、さらには統計的生命価値（1 人の死亡に起因するリスクを回避するための支払意志額）や統計的延命価値（1 年寿命を延命することの価値）を用いることで、実際の規制や事業費用に対する便益評価（費用便益分析）を行う。また、ADMER への入力データ（市区町村別排出量）の加減や人口動態のシミュレーションを行い、現在考えられる損失余命だけでなく、今後被る可能性のある損失余命のシナリオ分析を行い、効率のよい有害物質削減地域の選定等を行う。

5 結果及び分析

前節までの示した、ADMER による大気中濃度、就業者の曝露モデル、損失余命計算モデルを利用した結果及び分析を示す。今回の分析ではケーススタディとして排出量に地域差が大きく現れる神奈川県での濃度データを取り扱い、さらに求める損失余命に関しては昼間、夜間人口での流入が多い横浜市に着目して分析を行う。対象物質は発がん性物質であるベンゼンとした。まとめると、横浜市在住の人に対して神奈川県全体が与えるベンゼンの損失余命を計算したものとなる。

5.1 ADMER によるベンゼンの各市町村大気中濃度

Table 2 は ADMER によって求められたベンゼンの大気中濃度を示したものである。横浜市内で最も数値の高い区、低い区及び平均値、神奈川県全体で最も数値の高い区、低い区の市区町村及び平均値を示した。Table 2 より横浜市の各区は全体的に神奈川県市区町村の中で高い濃度を示す一方で、神奈川県全体で最も高い濃度を示したのは川崎市川崎区であった。ここでの着眼点は、排出量が多い地域 濃度が高いというわけではないということである。天候により排出物が大気拡散するので周りの地域との相互影響がある。事実、横浜市で最もベンゼン排出量が多い地域は磯子区であったが、濃度が最も高いのは鶴見区であった。

Table 2: ベンゼンの各市区町村大気中濃度

市区町村	大気中濃度 (g/m^3)
横浜市鶴見区	3.99×10^{-5}
横浜市金沢区	1.09×10^{-5}
横浜市平均	2.11×10^{-5}
川崎市川崎区	5.64×10^{-5}
湯河原町	1.72×10^{-6}
神奈川県平均	1.44×10^{-5}

5.2 損失余命の性別、区別比較

Table 3 は横浜市鶴見区および金沢区のみからの生涯曝露を考えた（就業による移動を考えない）、生涯発ガンリスク及び損失余命を男女別に示した結果である。横浜市内で鶴見区は最も大きい曝露量、金沢区は最も小さい曝露量を持つ地域である。Table 3 の結果より、両区とも女性が男性に比べ損失余命が大きいことが読み取れる。これは、発ガンリスクの上昇率の差が性別で僅かである（男性の方が若年層を除き基本的に高い）がそれ以上に平均寿命の性差が大きいためである。

また、同じ横浜市内にもかかわらず、損失余命の差が 3 倍以上の開きがあることが分かる。同一市内であっても大きな損失余命の差異が観察された。この結果は、⁵⁾ で示されているように、地域性を考慮したリスク評価の重要性を表現していると考えられる。

Fig. 2 は横浜市内各区での曝露のみを考えたそれぞれのエージェントの損失余命と生涯発ガンリスクの関係を示したものである。図より、損失余命と生涯発ガンリスクは比例関係だと予想することが出来る。最小二乗法より求められた式は以下のように表された。つまり、(16)、(17) 式を利用すれば、生涯発ガンリスク、つまり (5) 式において 1 日あたりの総曝露量が分かれば、各エージェントの損失余命は推定できるということである。この理由は、損失余命計算モデル内での過剰曝露によるガン死亡率が曝露量に比例するという仮定のためだと考える。(16)、(17) 式での $X_{\text{生涯発ガンリスク}}$ は (5) 式の n に対応するものである。

$$Y_{\text{男性損失余命}} = 5.0 \times 10^{-6} X_{\text{生涯発ガンリスク}} + 1.8552 \quad (16)$$

$$Y_{\text{女性損失余命}} = 7.0 \times 10^{-6} X_{\text{生涯発ガンリスク}} + 2.5908 \quad (17)$$

Table 3: 性差による損失余命比較

	生涯発ガンリスク	損失余命 (分)
鶴見区 (男性)	3.21×10^{-4}	1563
鶴見区 (女性)	3.21×10^{-4}	2155
金沢区 (男性)	9.00×10^{-5}	440
金沢区 (女性)	9.00×10^{-5}	606

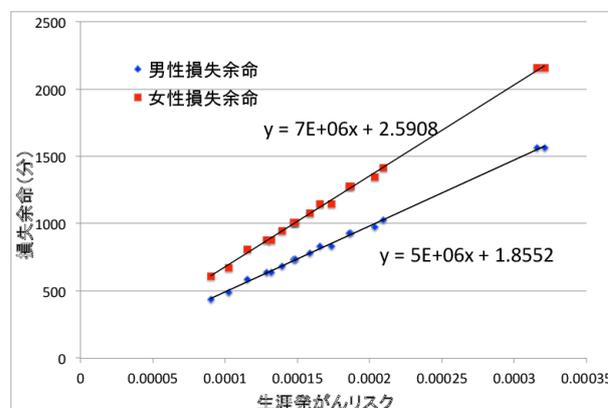


Fig. 2: 生涯曝露における損失余命と生涯発ガンリスクの関係

5.3 1年曝露による曝露年齢での損失余命

Fig. 3は1年曝露による曝露年齢での損失余命を年齢別に示したものである。示した結果は前節と同様に在住地、就業地ともに横浜市鶴見区による曝露量を利用したものである。Fig. 3より女性ほどのタイミング

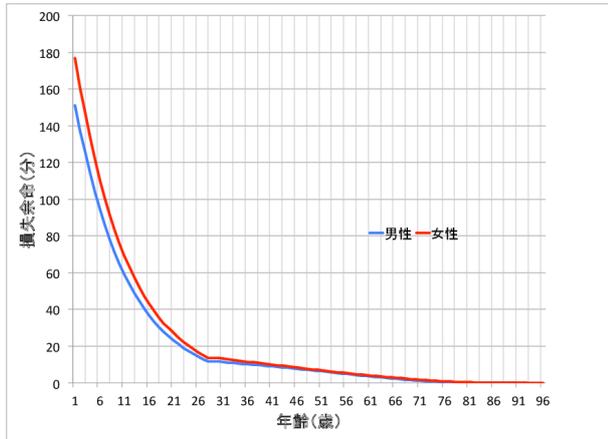


Fig. 3: 1年曝露による曝露年齢での損失余命

で1年間曝露しても男性より損失余命が大きいことが読み取れる。これは、前節で述べたと同様に女性の平均寿命が男性と比べ大きいことが理由である。また男性、女性共に若年での曝露タイミング時の方が損失余命が大きい結果となっている。これは利用した損失余命計算モデルの仮定の中で、年齢による曝露効果の相対性を考慮しているためであり、この結果を用いるのであれば、損失余命計算時は曝露対象となる各世代の割合、取り分け若年層の割合を注意して考慮すべきだといえる。また、若年層時は高齢に比べて男女の損失余命の差が大きいことが分かる。これは、若年層では女性は乳ガン等を代表する性差によるガンの発生率のためだと考える。つまり、過剰曝露ガン死亡率の上昇度合いが若年層時に女性では顕著である。

5.4 曝露期間での比較

Table 4は、35歳時の曝露1年と20~60歳時での曝露40年の損失余命を比較したものである。後者を職業期間曝露として考えると、Table 4より職業期間の損失余命は曝露期間にほぼ比例すると考えられる。この結果は、Fig. 3の結果による高齢時での曝露による損失余命が小さいことから考えられる。つまり、就業者の損失余命は曝露量さえ一定であれば、曝露期間のみに大方依存すると言える。一方、Table 3の生涯曝露と比較した差異、曝露期間以上に大きく数値が異なることが読み取れる。これは、若年時の曝露での損失余命が大きいためであり、5.3節で述べたように損失余命計算の際、若年層の世代の割合を注意して計算すべきだと言える。

Table 4: 曝露期間による損失余命比較

曝露期間	1年(35歳時)	40年(20~60歳時)
損失余命(男性)	10.23分	395.09分
損失余命(女性)	11.58分	447.07分

5.5 一人あたり各区別の損失余命

Fig. 4は男女別に一人あたりの1年間曝露(35歳時)での各区別の対応する区に在住する就業者の損失余命を求めたものである。今回示した結果は、就業地を考慮し、在住する区に対して人口の重み付けをした、就業者の一人あたりの損失余命である。

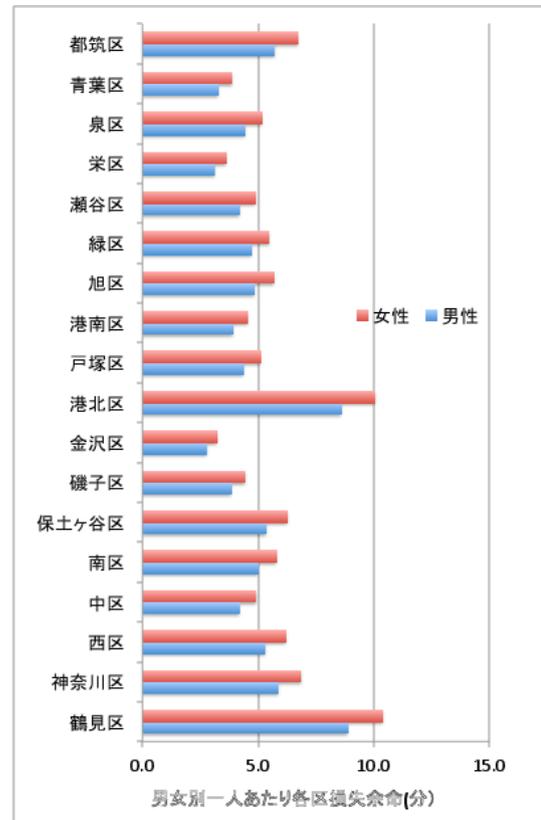


Fig. 4: 一人あたり区別損失余命

Fig. 4の結果より女性が男性よりも損失余命が大きいことが分かる。また基本的に大気中濃度が高い区の損失余命が大きい結果となっているが、西区と保土ヶ谷区で比較すると、保土ヶ谷区は西区に比べ大気中濃度が高い一方、損失余命が小さい結果となっている。これは西区の住民は保土ヶ谷区の住民に比べ、有害物質大気中濃度の高い地域を就業地としているためと考える。

5.6 就業者による各区合計損失余命

Fig. 5は一人あたりの1年間曝露(35歳時)での各区の対応する区に在住する就業者のFig. 4で示した一人あたりの平均損失余命に対して、在住者数を乗じ、各区の対応する区に在住する就業者による合計損失余命を表したものである。

Fig. 5より、男性の合計損失余命は女性と比べどの区でも全体の合計損失余命に対して大きな割合を示していることが分かる。これは、男性の就業者が女性の就業者より人数が多いためである。また、各区の就業者人数の差異から、Fig. 4で示した結果とは異なった区ごとの大小が読み取れる(一人あたりの区別平均損失余命と異なり、合計損失余命で比較すると、港北区の合計損失余命が鶴見区に比べ大きいなど)

5.6.1 モデルによる計算のまとめ

今回の区別の合計損失余命計算では曝露期間を1年としたものである。Table 4の結果に加え、就業者によ



Fig. 5: 就業者の各区合計損失余命

る年齢層が学生を除きほぼ若年層ではないことを考慮すれば、就業者による1年間の曝露を35歳時とした年齢設定はそれなりに妥当であると考えられる。つまり、就業者の曝露を考慮する際は年齢構成は結果に大きく作用しないということである。

また、Fig. 2の結果が示したように、生涯に渡る有害物質の曝露の損失余命はエージェントの一日の曝露量から(16)、(17)を用いることで推定することが出来る。一方でFig. 3が示すように、若年層の曝露による損失余命が他の年齢層に比べて非常に高いことから、生涯曝露ではなく、曝露期間を設定して損失余命を計算する際は、就業者以外の、取り分け若年層を対象とする損失余命を求める際は年齢区分を十分に考慮して計算する必要があるといえる。また、Fig. 4とFig. 5の異なった区別の大小から、区の合計損失余命を考える際、曝露する人の人数に大きく関わると予想できる。

5.7 モデル上の課題点

今回のモデルは様々な仮定をもとにしたものである。ガンの症状発生(罹患率)=ガン死亡率と仮定している点などが挙げられ、これらの仮定には疑問が残ると考える。また、今回のシステム構築は発ガン性物質を対象にしたものであるということである。非発ガン性物質の特徴である曝露量に閾値の存在に代表されるような、損失余命計算対象となる物質の特徴(死亡率の上昇度合い、年齢による感受性の差など)に対する、改良、変化が今後の最たる課題といえる。

6 今後の展望

今回の結果は就業者のみを扱ったものであった。地域の有害物質濃度の差は考慮したものの、年齢構成などの地域差は考慮できてないと言える。つまり、今回の結果に加え、就業者以外の曝露を考慮し、地域全体

の損失余命を求める必要がある。取り分け、曝露期間を設定して損失余命を計算する際は、曝露対象の年齢構成に注意しなければならない。また、今回の結果では就業者の曝露による合計損失余命が最も大きいのは横浜市港北区であった。この1年間曝露による港北区の損失余命が約3年(1500000分)という値がリスク評価の中でどのような意味を持つか考えなければならない。更には、今回のモデルでは有害物質による死亡率のみを取り扱っているため、段階的な健康状態の評価を無視している。QOLなどの生命の質を取り扱う必要があるか吟味しなければならない。また、入力データである排出量や人口動態を変化させたシナリオ分析で各区の損失余命がどのような値を取るかを評価を行わなければならないと考える。

参考文献

- 1) 規制の事前評価の実施に関するガイドライン. 政策評価各府省連絡会議了承, 平成 19 年 8 月 24 日. http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/hyouka/seisaku.n/pdf/070824.2.pdf(参照 2015-02-17)
- 2) 政策評価 Q & A (政策評価に関する問答集). 総務省, http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/hyouka/seisaku.n/q.and.a.html(参照 2015-02-17)
- 3) 中西準子:環境リスク学, 251p, 日本評論社 (2004)
- 4) Gamo, M., Oka, T., and Nakanishi J. :Ranking the risks of 12 major environmental pollutants that occur in Japan, *Chemosphere* **53**, 277/284 (2003)
- 5) 平成 19 年 4 月化学物質対策検討会(東京都環境局):地域性を考慮した化学物質対策のあり方について, 平成 18 年度報告書
- 6) 真田あすみら:疫学データを利用した我が国の粒子状大気汚染の健康影響評価, *Proceedings of the Symposium on Global Environment*, **15**, 63/66 (2007)
- 7) ADMER (産業技術総合研究所 曝露・リスク評価大気拡散モデル).<http://www.aist-riss.jp/software/admer/ja/index/>,(参照 2014-11-01)
- 8) 平成 22 年国勢調査 就業地・通学地による人口産業等集計 横浜市の概要, 平成 24 年 8 月横浜市政策局総務部統計情報化
- 9) 横浜市統計ポータルサイト, 平成 22 年国勢調査 従業地・通学地による人口・産業等集計結果, <http://www.city.yokohama.lg.jp/ex/stat/census/kokuchou1010/03jugyo/>,(参照 2015-01-24)
- 10) 呼吸率, (2007.3.30) https://unit.aist.go.jp/riss/crm/exposurefactors/documents/factor/body/breathing_rate.pdf(参照 2015-02-17)
- 11) 中西準子, 益永茂樹, 松田裕之:環境リスクを計算する, 27p, 岩波書店 (2003)
- 12) 蒲生昌志, 岡敏弘, 中西準子:発ガン性物質への曝露がもたらす発ガンリスクの損失余命による表現-生命表を用いた換算-, *環境科学学会誌*, **9**(1), 1/8 (1996)
- 13) 厚生労働省, 平成 23 年簡易生命表, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/seimei/list54-57-02.html> (参照 20150112)
- 14) 厚生労働省. 平成 22 年度人口動態年報, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suii09/index.html> (参照 20150112)
- 15) Gofman, J.W:Radition-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: An Independent Analysis. Committee for Nuclear Responsibility, (1990)