18. 異なる手法を用いた将来の全球 $PM_{2.5}$ および対流圏オゾン削減便益の経済価値評価

関沢　賢[1]・藤森　真一郎[2]・大城　賢[2]・上田　佳代[3]

[1] 非会員　京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスターC-1-367）
E-mail: sekizawa.satoshi.78w@st.kyoto-u.ac.jp (Corresponding Author)

[2] 正会員　京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスターC-1-362）

[3] 非会員　北海道大学大学院医学研究院（〒060-8638 札幌市北区北 15 条西 7 丁目）

温室効果ガス排出削減は，副次的に大気汚染物質（$PM_{2.5}$ および対流圏オゾン）濃度低下をもたらし，健康被害低減の便益があるとされる．死亡者数の削減便益は一般に死亡者の特性に依らず共通に評価する指標である VSL(Value of Statistical Life)により金銭化されるが，将来の高齢化に伴い死亡者の余命を加味する指標である VSLY(Value of Statistical Life Year)を用いた推計値の差の増大が見込まれる．本研究では将来排出経路に基づき気候緩和策がもたらす健康コベネフィットの経済価値を二つの手法を用いて評価し比較した．結果，VSLY を用いると全世界で約 41%推定便益が減少し，特に高齢化が深刻化する地域において減少率は大きかった．これを踏まえ，各地域の年齢構成の特性や高齢化の進度による便益減少を加味したうえでの慎重な政策検討が必要になる可能性があると考えられた．

Key Words: *Climate Change, Air Pollution, Emission Reduction, Co-benefit, $PM_{2.5}$, VSL, VSLY*

1.　はじめに

IPCC 第 6 次評価報告書 [1]によると，気候変動緩和のために GHG 排出削減を行うと，様々な共便益（以下，コベネフィット）が得られるとされ，その主要な一つとして大気汚染物質 $PM_{2.5}$ と対流圏オゾン（以下，オゾン）濃度低下に伴う健康被害低減が挙げられる．この便益評価は，1.5℃目標を達成するシナリオにおいて 2020 年から 2050 年まで削減努力を継続させた場合、70～80 兆 US$規模になることが推計されている [2]．

早期死亡の金銭換算には，一般に 2 種類の手法が頻用される．それは，統計的生命価値（Value of Statistical Life; VSL）または統計的生命年価値（Value of Statistical Life Year; VSLY）を用いる方法である．これらは，死亡リスクの限界的変化に対する個人の支払い意思額（WTP; Willingness To Pay）に基づいて計算され，大気汚染による間接コスト（例：生産性損失）の他，直接的な医療コスト（例：治療費，入院費），非医療コスト（例：交通費），無形のコスト（例：疾患の苦痛）を含む．VSL は，死亡回避に対する個人の WTP の総和により計算される．次に VSLY は，1 年の余命損失回避に対する WTP の総和と定義され，高齢人口が平均的な人口より残存年数が短いことを反映し，より低い WTP 推定値が適用される．将来の世界的な高齢化の進展予測を踏まえると，政策に伴う回避死亡に占める高齢者の割合は増加することが予想される．ほとんどの気候緩和策のコベネフィットを調べた既往研究 [3]では，VSL を用いて将来の健康影響を金銭換算しているが，政策がもたらす便益を推定する上で過大評価に繋がる可能性がある．これらの研究では，VSL を用いた場合にアジアを代表とする多くの地域で気候緩和策（GHG 削減）自体にかかるコストを健康便益が上回ることを示唆しているが，VSLY を用いた場合にどう定量化されるかは検証されていない．

以上の背景から，本研究では世界全域を対象として GHG 削減に伴う早期死亡回避のコベネフィットを従来の VSL と新規に VSLY を用いて金銭換算するとともに，気候緩和策の費用便益分析を行う．これにより，気候緩和策がもたらす健康コベネフィットが意味する経済的価値の不確実性を評価することを目的とする．

2. 手法

(1) 手法の概要

本研究では，気候緩和策実施条件の異なる複数の大気汚染物質排出量データおよび気象条件データをもとに，化学輸送モデル GEOS-Chem[4]を用いて，$PM_{2.5}$ とオゾン年平均濃度を 0.5° ×0.5° のグリッド解像度で計算した．次に健康影響関数により，$PM_{2.5}$ およびオゾンに起因する死亡者数を算出した．次に，VSL または VSLY により死亡者数を 2 つの手法により金銭換算する．最後に，得られたグリッドでの結果を国ごとに集約し，経済コストの不確実性を分析する．また排出削減に必要な費用と便益を比較する．

(2) GEOS-Chem

$PM_{2.5}$ と対流圏オゾン濃度を算出するため，本研究では GEOS-Chem を用いて計算を行った．なお，入力した大気汚染物質排出量データは，後述の排出シナリオの地域別排出量を AIM/DS モデル [5]により 0.5°×0.5°にダウンスケールしたものを用いた．

a) オゾン指標濃度（PSMDA8）の計算

GBD2019 では，健康影響をもたらすオゾン濃度指標として，連続した季節 6 か月の最大日 8 時間平均濃度（Peak-Seasonal Maximum of Daily 8 hour Average; PSMDA8）を定義している．そこでオゾン濃度の 1 時間値から，当該時刻を含む後 8 時間値を計算し，PSMDA8 を算定した．

(3) 健康影響の算出方法

a) 死亡者数の算出

$PM_{2.5}$ 由来の超過死亡者数を算出する際には，健康影響関数が用いられる．ここでは世界疾病負担研究（Global Burden of Disease; GBD）などの推計に広く一般に用いられる IER (Integrated Exposure-Response model)と屋外大気汚染に特化して開発された GEMM (Global Ex-posure Mortality Model)を用いて死亡者数を 2 通りの方法で算出した．関数ごとの開発経緯と評価およびパラメータ・閾値は Burnett et al. [6][7]を参照されたい．

次に，オゾンに起因する相対リスク RR を，式(1)の対数線形関数を用いて PSMDA8 濃度 z (μg/m3)，閾値 z_cf (μg/m3), パラメータ β から計算した．対数線形関数は、Pope et al.[8]によって疫学研究に基づく初期の開発努力がなされて以降、幅広い研究において一般に用いられる関数である。ここでは Turner et al. [9]に従い，β=0.007696 とした．

$$RR(\mathrm{z}) = \exp\left(\beta(z - z_{cf})\right) \quad (1)$$

次に式(3)により関数別に死亡者数を算出する．

$$M_i = \sum_{j,k,l} P_j \times B_{j,k,l} \times \frac{RR_{i,j,k,l} - 1}{RR_{i,j,k,l}} \quad (2)$$

M：死亡者数（人）
P：グリッド人口（人）
B：ベースライン死亡割合（人/人）

ここでは人口，ベースライン死亡割合および RR を用いて表される超過死亡の割合の積をとることでグリッド死亡者数を計算し，各疾患および各年齢階級の総和をとるとともにグリッドを OECD、中東・アフリカ、ラテンアメリカ、アジア、旧ソ連諸国の 5 地域に集約した．この 5 地域区分は後述の排出シナリオにおける地域別排出量の算出に用いられたものである．グリッド人口はシナリオの国別人口推計値を 0.5°×0.5°グリッドにダウンスケールしたデータを利用した．またここでのベースライン死亡割合とは，人口当たりの大気汚染に依らない死亡者数の割合を指す．本研究では国・疾患・年齢階級別の 2015 年におけるデータを IHME[10]より引用し，将来年におけるデータを IFs[11]より引用した．計算の際には，国別の値が国ごとの全てグリッドにおいて等しいと仮定した．

(4) 金銭換算プロセス

VSL および VSLY と，それらを用いて大気汚染に起因する総経済負担を表す VSL_EC，VSLY_EC は以下の式(3)から(6)により計算される．この計算式および使用した値は Yin et al. [12]に基づく．

$$VSL_{c,y} = WTP_{OECD} \times \left(\frac{GDPPC_{c,y}}{GDPPC_{OECD,y}}\right)^{i} \quad (3)$$

$$VSL_EC_{c,y} = M_{OECD,y} \times VSL_{c,y} \quad (4)$$

$$VSLY_{c,y} = VSL_{c,y} \times \frac{r_c}{1 - (1 + r_c)^{-LE_{c,y}}} \quad (5)$$

$$VSLY_EC_{c,y} = M_{OECD,y} \times \sum_{t=0}^{LE_{c,y,l}-1} \frac{VSLY_{c,y,l+t}}{(1 + r)^t} \quad (6)$$

M: 死亡者数（人），LE: 期待余命（年）
GDPPC: 1 人あたり GDP (/人/年)
i: 所得弾力性，r : 割引率，c: 国，　y: 年，l: 年齢階級

式(3)において，WTP は OECD 諸国を対象にして推定された 354 万 US$を用いた．式(5)において，基本 VSLY は，VSL に年間分割償還率を乗じて算出される．さらに，式(6)から，VSLY_EC は，各死亡集団の 1 回の死亡によって失われる生命価値（各年の喪失の経済価値の合計）に

よって計算される. 所得弾力性は OECD 諸国が 0.8, その他の中低所得国が 1.2 として計算し, VSLY の計算で仮定した割引率も同様に OECD 諸国が 4%, その他の中低所得国が 6%である. すべての生産高の単位は 2010 年 PPP 調整済み US ドルである.

(5) 気候緩和に必要な費用との比較

本研究では, 気候緩和策によって得られる便益が必要な費用に対しどの程度の大きさになるのかの参考値として、気候緩和策実施による費用として単年の地域別 GDP 損失を用いて比較した。なお、West et al.[3]は気候緩和策における単年の限界削減費用（炭素価格）と限界削減便益を $CO_2$1 トンあたりでの比較を試みたが、手法・モデル上の制約から費用は限界費用、便益は平均で評価している．本研究では、厳密な比較を行えることに加え、マクロ経済全体への影響を計上できる費用として今回は GDP 損失を用いた比較を採用した.

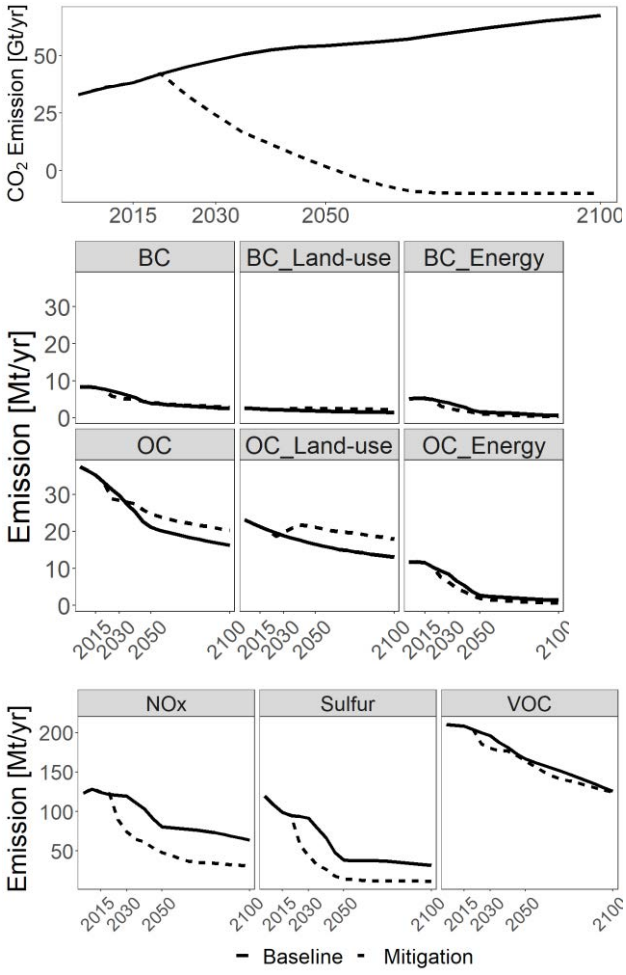


図-1 シナリオごとの CO_2 排出量（上段）および BC, OC 排出量 (中段）, NOx, 硫黄 (Sulfur), VOC 排出量（下段）

(6) 排出シナリオ

本研究では気候緩和によるコベネフィットの金銭価値について分析するため、排出量の大きい Baseline シナリオ（以下, Baseline）と小さい Mitigation シナリオ（以下, Mitigation）を用いた. Baseline は特に排出制約を設けない成り行きのシナリオ, Mitigation は全球平均気温上昇を 1.5 度以内に抑える排出削減に相当する緩和シナリオを用いた. これらのシナリオにおける地域別排出量は Fujimori et al.[13]のデータを用いた. なお, これらのシナリオでは気候変化による社会経済への影響は考慮していない. Baseline における大気汚染物質排出規制は、Mitigation における気候緩和策が実施されてもそのまま維持されると仮定している。したがって, Baseline と Mitigation の大気汚染物質排出量の違いは, Mitigation の気候緩和策にのみ起因するものとすることができる。それぞれのシナリオにおける人為起源の CO_2 および大気汚染物質排出量推移は**図-1** に示した. 緩和を行うと基本的に排出量が低下する傾向にあるが, BC や OC の排出量は Mitigation が Baseline の値を上回った. これは, 土地利用部門の排出の影響が大きいためであると考えられる. 土地利用部門の BC, OC 排出量は Mitigation が Baseline を上回る（**図-1** 中段, BC_Land-use, OC_Land-use）. これは気候緩和策の実施により, 世界全体で植林が増加し, 森林火災に由来するものが多く増加したためであると考えられる. なお, エネルギー部門においてはそれらの排出量は緩和策の実施により減少した (BC_Energy, OC_Energy).

3. 結果

(1) 大気汚染濃度（$PM_{2.5}$・オゾン）

a) 観測値との比較 (2015 年)

本研究に用いたモデル濃度およびその評価は, 渡邉ら[14]の論文と同様であり詳細はそちらを参照されたい. 渡邉ら[14]は, 観測地点を最も近傍の 0.5°×0.5°グリッドに対応させ, そのグリッドにおけるモデル濃度と観測値を比較している. 比較の結果, 全体的にオゾンは観測値よりも 5 ppbv 前後過大評価であり, $PM_{2.5}$ も 10 ppbv 前後の過大評価であったとしている. なお, 過大評価の要因は, 地域スケールの濃度を正確に再現するためのインベントリ制度や気候・地形データの精度に不十分な点があることの影響が大きいと指摘している. しかし, これらの差異は本研究の結論に大きな影響を及ぼすものではないと考えられるため, このモデル濃度を本研究の推計に用いた.

b) 将来シナリオにおける濃度

図-2 は $PM_{2.5}$ およびオゾンの 2050 年 Baseline に対する 2050 年 Mitigation の濃度変化量を表す. 温室効果ガス排出

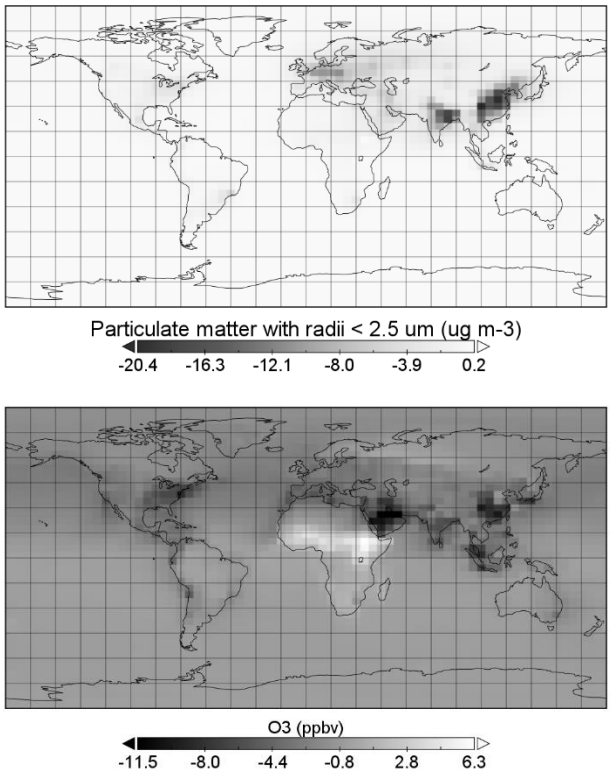


図-2　$PM_{2.5}$（上段）およびオゾン PSMDA8（下段）濃度変化（2050 年 Mitigation - 2050 年 Baseline）

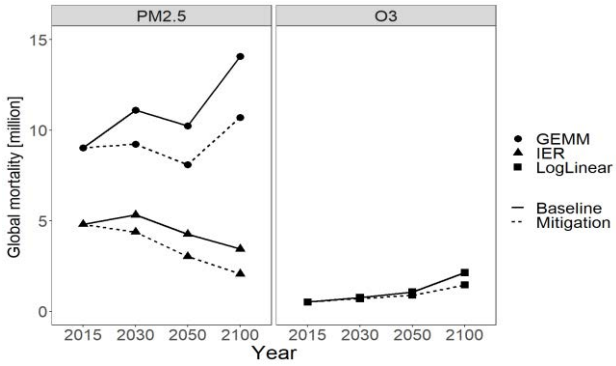


図-3　$PM_{2.5}$およびオゾンによる世界全体の死亡者数推計値

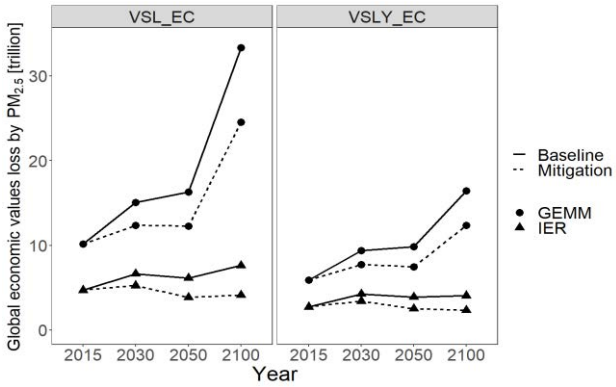


図-4　$PM_{2.5}$に起因した VSL または VSLY を用いた早期死亡の経済的価値の比較

削減の副次的な影響として 2050 年の Baseline と比較し，2050 年 Mitigation において $PM_{2.5}$ 濃度の低下が見られた．濃度低下は主に途上国である中国やインドで大きく，アフリカなどの砂漠地帯では小さい．これは気候緩和策の実施が主に人為起源の大気汚染物質排出量低下に繋がりやすいことを反映していると考えられる．なお**図-1** によると 2050 年において世界全体での OC と BC の濃度は Mitigation が Baseline を上回るが，$PM_{2.5}$ 濃度は Mitigation が下回った．これは Mitigation における NOx や SOx, VOC などの大気汚染物質の排出量減少の影響が大きいためであると考えられる．

(2)　シナリオごとの死亡者数推計値

シナリオごとの $PM_{2.5}$ およびオゾンに起因した世界全体の死亡者数推計値を**図-3** に示す．**図-3** より，排出削減を想定した Mitigation では，Baseline と比較し大気汚染濃度低下により死亡者数が低下したことがわかる．

2015 年における PM2.5 およびオゾンに起因する死亡者数は、GEMM を用いた場合に 904 万人と 52 万人を記録し、PM2.5 によるものが 94.5%を占めた。PM2.5 に起因する死亡者数は、Burnett et al. 6)における推計値（890 万人）との整合性が担保された結果となった一方、GBD2019 における推計値（32 万人）に対してやや過大評価となった。これは、計算に用いている健康影響関数および濃度の違いによるものが大きいと考えられる。しかし、死亡者数は PM2.5 に起因するものが支配的であることを踏まえると、本研究の方向性にさほど影響しないと判断し、これらの値を用いて金銭換算の推計値を算出した．

(3)　シナリオごとの金銭価値推計値

2 つの関数を用いた，シナリオごとの VSL または VSLY を用いた場合の世界全体の $PM_{2.5}$ に起因した死亡の金銭価値推計値を**図-4** に示す．GEMM を用いた場合、世界全体の VSL_EC と VSLY_EC は 2050 年において 16.3 と 9.85 兆 US$と推計され、40%減少した．

値の整合性について，Yin et al. [11]によると，2015 年における GEMM による同推計値は, それぞれ US2011$8.32 と US2011$4.54 兆と推計されており，本研究の推計値である US2010$10.2 と US2010$5.90 兆に対し，23%と 30%とやや過大評価が見られた結果となった．過大評価になった要因は，(1)節で述べた大気汚染濃度の違いが主に影響していると考えられる

(4)　地域別削減便益と費用

以下図-5 に，特に 2050 年における緩和策の健康便益と費用の比較結果を示す．結果の傾向の類似性から

GEMM を用いた場合のみを示した．全ての計算年・地域で VSLY を用いた場合に VSL と比較し便益推計値は減少した．2050 年においては、地域ごとに 31%～53%の減少が見られた．図-5 では，いずれの地域においても費用が便益を大きく上回っている．GDP 損失に対し、VSL および VSLY を用いた場合の推計値は、世界全体で 41.7%および 24.8%の値となった。地域別にみると OECD では 74.6%および 35.3%となり、最も費用に対する便益の割合が大きく推計された結果となった．一方、いずれの地域も費用を便益が下回り従来と異なる結果となった．

表-1 は，VSL に代替して VSLY を用いた場合の $PM_{2.5}$ とオゾンの合算経済コストの地域別減少率と，25 歳以上人口に占める 65 歳以上人口の割合（高齢人口率と定義する）を表している．結果より、OECD のような高齢人口率が高い地域ほど，減少率が大きくなりやすいことを示唆している．

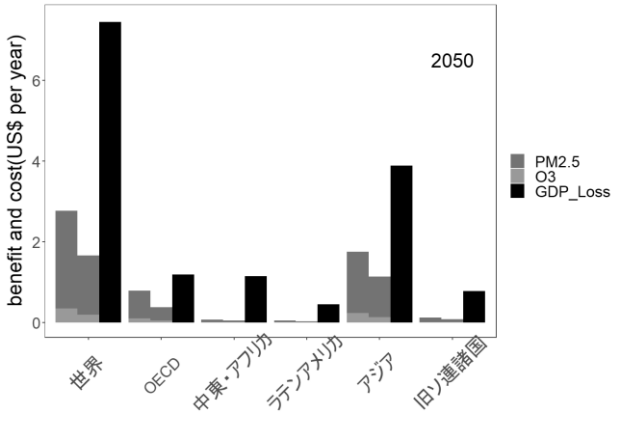


図-5　地域別削減便益と費用（2050 年）．グループ化された棒グラフの左から順に VSL と VSLY を用いた場合の便益、GDP 損失を表す. $PM_{2.5}$ による推計値は GEMM を用いた場合の値.

表-1　減少率と高齢人口率　（括弧付き）（%）

	2030 年	2050 年	2100 年
世界	39.2	40.5	53.0
	(18.9)	(25.7)	(38.8)
OECD	49.6	52.7	62.2
	(30.6)	(36.8)	(47.5)
中東・アフリカ	28.5	30.7	45.8
	(10.3)	(14.6)	(28.5)
ラテンアメリカ	36.9	40.5	55.4
	(19.4)	(28.5)	(45.5)
アジア	34.0	35.8	50.8
	(17.5)	(26.3)	(41.9)
旧ソ連諸国	32.9	33.2	43.3
	(23.2)	(28.7)	(42.1)

4.　考察

(1)　便益と費用の比較について

a)　結果の解釈

図-5 において、2050 年で GDP 損失に対し便益がかなり低く推計された．West et al.[3]では、ほとんどの地域で費用を便益が上回る異なる傾向を示したため、その要因について以下で考察する。前提として、West et al.[3]は、緩和シナリオとして代表濃度経路 RCP4.5 を用いて費用と便益を比較している。RCP4.5 は、2100 年までに世界の放射強制力を 4.5W/m^2 に安定化させる中位安定化緩和シナリオであり、2050 年における年間 CO_2 排出量は、40～50GtCO_2 を仮定している。本研究の同排出量は、約 1.7Gt CO_2 であり、燃料の電化や再エネ転換などの削減費用が低く大気汚染物質排出削減量の大きな削減策に加え、BECCS や DAC を用いた比較的削減費用の高い一方大気汚染物質排出削減量の少ない負の排出技術等が更に導入されている。それにより、本研究の Mitigation シナリオにおいては、West et al.[3]で用いた RCP4.5 シナリオと比較し費用に対する大気汚染物質の排出量および健康便益は相対的に小さく推計されたことが考えられる。

次に本研究の結果を踏まえ、高齢化が深刻な地域ほど，便益評価には十分な注意が必要である. 表-1 の結果より，VSLY を用いた場合の便益の減少率と高齢人口の割合にはある程度の相関があると考えられる．これは、年齢ごとの期待余命を考慮した指標特性による影響が大きいと予想される。この結果を踏まえ，特に高齢化の深刻化が予測される地域では，VSL を用いた場合の便益の過大評価に注意すべきであると考えられた．

b)　手法の限界

本研究では，簡易的に限界削減便益ではなく平均便益により比較したが，議論が必要である．前述のとおり、早期に実施される CO_2 削減策では同時に大気汚染物質が大規模に軽減される可能性が高い一方，費用の比較的高い削減策では大気汚染物質の大規模な排出削減はあまり期待できない．そのため CO_2 削減量に対する便益曲線を想定すると，削減量の増加に対し便益増加が緩やかになる可能性があり，その場合本研究の推定便益は過大評価になる．単年ではなく累積の費用と便益の比較にこのような限界はなく，厳密な推定のためにはそれが課題である．なお、本研究の主題である VSL と VSLY を用いた場合の便益推計値の相関関係に及ぼす影響は微小であると考えられる．

5. おわりに

本研究では，気候緩和策がもたらす健康コベネフィットが意味する経済的価値の不確実性を適切に評価することを目的とし，CO_2 排出削減に伴う早期死亡回避便益をVSL と VSLY を用いて金銭換算するとともに，気候緩和策の費用便益分析を行った．その結果，全ての年・地域で VSLY を用いた場合に VSL と比較し便益推計値は減少した．また高齢者の割合が多い地域ほど，VSLY を用いることで VSL と比較し，緩和による濃度低下に伴う削減便益の減少が確認された．各国は年齢構成を踏まえ，健康便益の不確実性を考慮したうえで気候緩和策の意思決定を検討すべきであると考えられた．

謝辞　本研究は(独)環境再生保全機構環境研究総合推進費（JPMEERF20211001）、公益財団法人住友電工グループ社会貢献基金の支援を受けた。

REFERENCES

1) IPCC(2022): Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change - Summary for Policymakers (SPM),In Cambridge University Press.
2) Markandya, A., Sampedro, J., Smith, S. J., Van Dingenen, R., Pizarro-Irizar, C., Arto, I., & González-Eguino, M.(2018): Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study,The Lancet Planetary Health, 2(3), e126–e133.
3) West, J. J., Smith, S. J., Silva, R. A., Naik, V., Zhang, Y., Adelman, Z., Fry, M. M., Anenberg, S., Horowitz, L. W., & Lamarque, J. F.(2013): Co-benefits of mitigating global greenhouse gas emissions for future air quality and human health,*Nature Climate Change*, *3*(10), 885–889.
4) Bey, I., Jacob, D. J., Yantosca, R. M., Logan, J. A., Field, B. D., Fiore, A. M., Li, Q., Liu, H. Y., Mickley, L. J., & Schultz, M. G.(2001): Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation,*Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *106*(D19), 23073–23095.
5) Fujimori, S., Hasegawa, T., Ito, A., Takahashi, K., & Masui, T.(2018): Data descriptor: Gridded emissions and land-use data for 2005–2100 under diverse socioeconomic and climate mitigation scenarios,*Scientific Data*, *5*, 1–14.
6) Burnett, R. T., Arden Pope, C., Ezzati, M., Olives, C., Lim, S. S., Mehta, S., Shin, H. H., Singh, G., Hubbell, B., Brauer, M., Ross Anderson, H., Smith, K. R., Balmes, J. R., Bruce, N. G., Kan, H., Laden, F., Prüss-Ustün, A., Turner, M. C., Gapstur, S. M., … Cohen, A.(2014): An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure,*Environmental Health Perspectives*, *122*(4), 397–403.
7) Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C. A., Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S. S., Kan, H., Walker, K. D., Thurston, G. D., Hayes, R. B., … Spadaro, J. V.(2018): Global estimates of mortality associated with longterm exposure to outdoor fine particulate matter,*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(38), 9592–9597.
8) Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D.(2002): Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution,JAMA, 287(9), 1132–1141.
9) Turner, M. C., Jerrett, M., Pope, C. A., Krewski, D., Gapstur, S. M., Diver, W. R., Beckerman, B. S., Marshall, J. D., Su, J., Crouse, D. L., & Burnett, R. T.(2016): Long-Term Ozone Exposure and Mortality in a Large Prospective Study,*American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *193*(10), 1134–1142.
10) IHME(n.d.): *GBD Results Tool | GHDx*. Retrieved April 12, 2022, from https://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool
11) IFs(2022, December 13): *Mortality Display*. https://www.ifs.du.edu/IFs/frm_MortDisplay.aspx
12) Yin, H., Brauer, M., Zhang, J. (Jim), Cai, W., Navrud, S., Burnett, R., Howard, C., Deng, Z., Kammen, D. M., Schellnhuber, H. J., Chen, K., Kan, H., Chen, Z. M., Chen, B., Zhang, N., Mi, Z., Coffman, D. M., Cohen, A. J., Guan, D., … Liu, Z.(2021): Population ageing and deaths attributable to ambient PM2·5 pollution: a global analysis of economic cost,*The Lancet Planetary Health*, *5*(6), e356–e367.
13) Fujimori, S., Hasegawa, T., Masui, T., Takahashi, K., Herran, D. S., Dai, H., Hijioka, Y., & Kainuma, M.(2017): SSP3: AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways,*Global Environmental Change*, *42*, 268–283.
14) 渡邉 諒一, 上谷 明生, 関沢 賢, 藤森 真一郎, 長谷川 知子, 大城 賢, 世界全域を対象とした異なる水平解像度を用いた大気汚染の影響評価, 土木学会論文集G（環境）, 2022, 78 巻, 5 号, p. I_251-I_262, 公開日 2023/01/24, Online ISSN 2185-6648,