6.複数の気候モデルを用いた気温上昇量と海面上昇量の関係

竹内　遼真[1]・横木　裕宗[2]

[1]茨城大学　大学院理工学研究科都市システム工学専攻（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1）
E-mail: 23nm829f@vc.ibaraki.ac.jp

[2]正会員　茨城大学教授　大学院理工学研究科都市システム工学領域（同上）
E-mail: hiromune.yokoki.hy@vc.ibaraki.ac.jp (Corresponding Author)

2100 年までに全球平均の海面水位と地表気温は上昇すると予測されているが，予測に使用される気候モデルは複数存在し，それらの気候モデルによって予測値が異なっている．本研究では，将来における全球平均の海面上昇量，気温上昇量を対象に， 11 個の気候モデルと 5 つの SSP シナリオを組み合わせて，モデル出力を比較しそれらの特徴を明らかにした．気温上昇量と海面上昇量はモデルごとに異なり，上昇量が一番小さいモデルに比べて大きいモデルは約 1.5 倍ほどの差があった．また，どのモデルにおいても SSP5-8.5 や SSP3-7.0 では気温が 1℃上昇する毎に海面水位が約 0.05 ~ 0.1m の範囲で上昇する．どのシナリオにおいても最終的に気温上昇量が安定化するが，これに対して海面上昇量は増加し続ける．

Key Words: *climate change, sea level rise, surface temperature, climate models, SSP scenario*

1. はじめに

IPCC 第 6 次報告書[1]では，温暖化による気候変動により，2100 年までに全球平均での海面水位が 0.28 ~ 1.01m 上昇するとされている．この海面水位の上昇は年々増加することは疑いようがない．また，気温上昇も同様に起こるとされている．1900 年以降気温は増加し続け，1.0~5.7 ℃の間で上昇が予測されている．

CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) では CMIP5 で使用されていた 2100 年での放射強制力を表す RCP シナリオと，将来がどう変化していくかを表す SSP (Shared Socio-economic Pathway)を組み合わせた SSP シナリオ SSP x-y を用いている．ここで x は 5 つの SSP（1：持続可能な社会，2：SSP の中で中間， 3：地域間での対立，4：格差，5：化石燃料に依存），y は 放射強制力(W/m²)（RCP の番号に相当） となっている．本研究では，SSP 5-8.5， SSP3-7.0，SSP2-4.5，SSP1-2.6，SSP1-1.9 の 5 つのシナリオを用いた．

本研究では全球規模での将来の気温上昇と海面上昇の程度，さらには気温上昇と海面上昇の影響に関して複数の気候モデルを用いて評価し，同じ SSP シナリオに対して，気候モデルによってどのように異なっているか，また，異なる気候モデルにおいて共通の傾向などがあるのかを明らかにすることを目的としている．

2. 研究方法

本研究では CMIP6 に登録されている気候モデルの中で，全球平均海面水位 zostoga と表面気温 ts を出力しているものとして，ACCESS-ESM1-5, CMCC-CM2-SR5, CNRM-CM6-1,CanESM5，EC-Earth3-Veg，GISS-E2-1-G，INM-CM5-0, IPSL-CM6A-LR，MIROC6，MPI-ESM1-2-LR，MRI-ESM2-0, NorESM2-LM の 12 個のモデルを選定した[2]．しかし，この中で INM-CM5-0 は，他の気候モデルに比べて海面上昇量が極端に小さい値だったので比較対象からはずし，以下 11 個のモデルで比較している．また，SSP 5-8.5, SSP3-7.0，SSP2-4.5，SSP1-2.6，SSP1-1.9 の他に，1850 年から 2014 年の変化を表す historical や，2101 年から 2300 年の変化を表す長期拡張も評価に用いた．

本研究では海面上昇データとして全球平均の海面水位を表す zostoga を，気温変化データとして全球の表面気温分布を表す ts を使用した[3]．これらのパラメターを CMIP6 のデータダウンロードサイト[4]から，モデル・SSP シナリオごとにダウンロードした． zostoga は熱膨張による海面水位変化を計算したもので月ごとに出力され

提供されている．tsは，全球分布値が月ごとに提供されているので，別途計算点の間隔に応じてグリッド面積の重み付け平均値を求め，それを全球表面気温データとした．

3. 研究結果

(1) 全球平均海面上昇量

図-1 に CanESM5 における海面上昇量を示した．この気候モデルは 11 個のモデルの中で海面上昇量の大きいモデルとなっているため，代表値として使用した．2015 年を基準（ゼロ）とした上昇量を示した．2100 年までに SSP5-8.5 で約 0.4 m，SSP1-2.6 で約 0.15 m，SSP1-1.9 で約 0.12 m 上昇しており，SSP ごとによって上昇量に差がみられる．また，2030 年頃まではどの SSP シナリオでも同様の海面上昇を示すが，2040 年を過ぎた頃からシナリオ毎に分岐する．

図-2 に 11 個の気候モデルの SSP5-8.5 における海面上昇量を示す．この中で最大値を示したのは CanESM5 で，約 0.4m，最小値を示したモデルは，NorESM2-LM であり，その値は約 0.27 m となっている．また，**図-3** に SSP1-2.6 における海面上昇量を表す．最大値を示したモデルは MRI-ESM2-0 で，約 0.19 m の上昇量となっている．最小値を示したモデルは IPSL-CM6A-LR であり，約 0.12 m の上昇量となっている．このことから，シナリオによって最大値・最小値を示すモデルは異なるが，平均上昇量に対して半分程度のばらつき（最大値と最小値の差）があることが分かった．

(2) 全球平均気温変化量

図-4 に CanESM5 の気温上昇量を示す．このモデルは海面上昇と同様に気温上昇も大きいモデルであった．SSP5-8.5 で気温上昇が約 6℃，SSP1-2.6 で約 1.4℃の気温上昇となっている．また，2015 年から約 10 年間は SSP シナリオの違いによる上昇量の変化はほとんどない．これは，緩和策を実施しても気温上昇にすぐに影響する訳ではないことを示している．

11 個のモデルで比較すると，SSP5-8.5 における気温上昇量が最も大きいのは CanESM5 であり，その上昇量は約 6.0℃となっていた．また，気温上昇量が最も小さいのは NorESM2-LM と MPI-ESM1-2-LR であり，約 3.0℃の気温上昇となっていた．

SSP1-2.6 において気温上昇量の最大値を示したモデルは CMCC-CM2-SR5 であり，上昇量は約 1.5℃となっていた．また，最小値を示したモデルは NorESM2-LM で，上昇量は約 0.4℃とほとんど気温が変化していなかった．このシナリオではほとんど気温が上昇せず，多くのモデルで 2060 年以降は気温が安定化する様子がみられた．

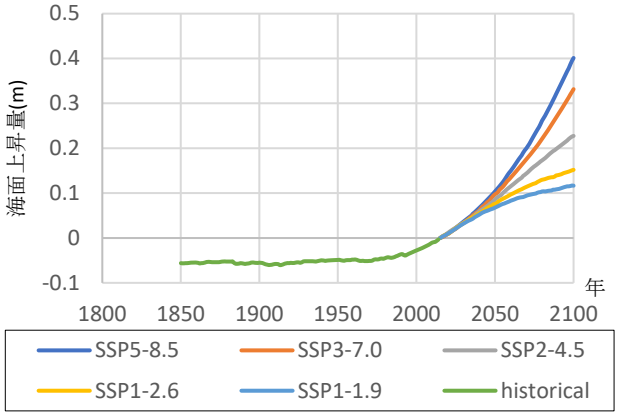


図-1 CanESM5 における海面上昇量

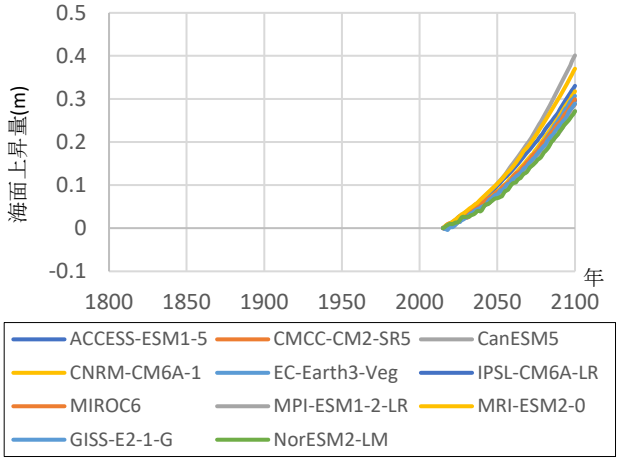


図-2 SSP5-8.5 における海面上昇量

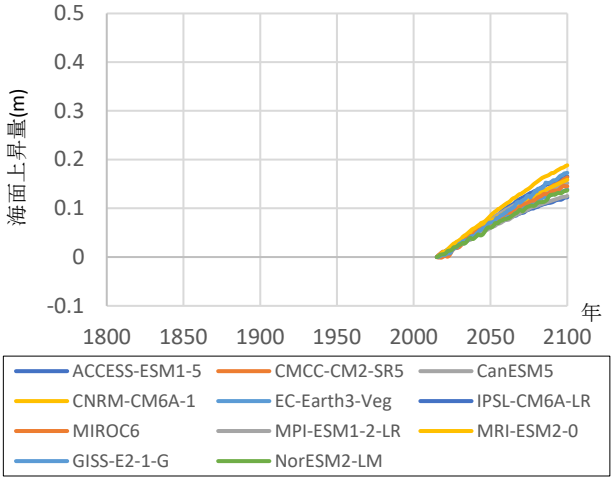


図-3 SSP1-2.6 における海面上昇量

(3) 気温上昇と海面上昇の関係

図-5 に CanESM5 における気温上昇量と海面上昇量の関係を示す．どの SSP シナリオでも気温上昇量が小さいときは同一直線上に点があり，傾きがほぼ同じであることがわかる．しかし，SSP1-1.9 や SSP1-2.6 などはこの直線上から外れている点も多い．これは 21 世紀後半にお

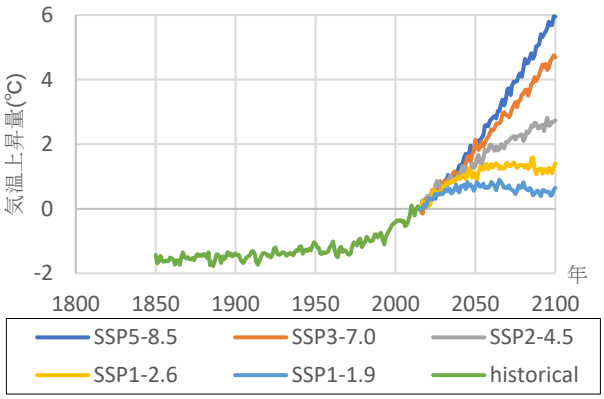


図-4　CanESM5 における気温上昇量

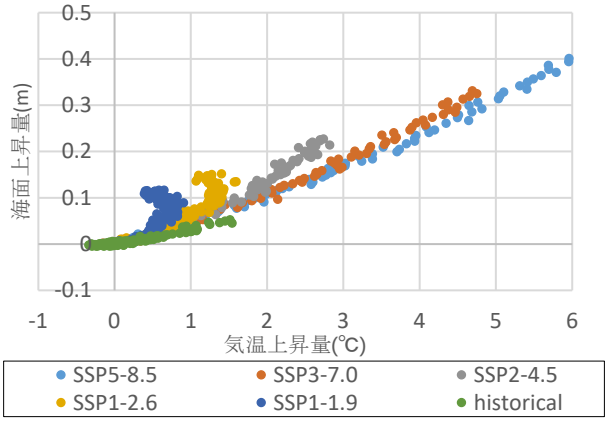


図-5　CanESM5 における海面上昇量と気温上昇量の関係

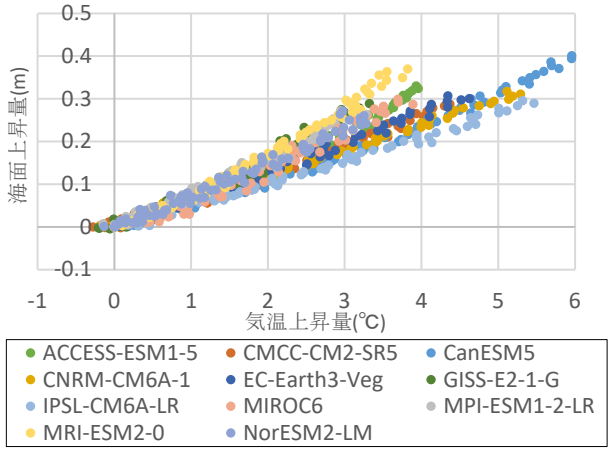


図-6　SSP5-8.5 における海面上昇と気温上昇量

いて気温上昇量が小さくなっていくにも関わらず，海水温が高いため海面上昇が引き続き生じていることを意味する．SSP3-7.0, SSP5-8.5 などの排出量の大きいシナリオでは，気温が上昇し続けるため，気温上昇に対する海面上昇割合が一定となった．

図-6 に SSP5-8.5 における気温上昇と海面上昇の関係を示す．SSP5-8.5 ではどのモデルでも気温が単調な上昇傾向を示すため，気温上昇に対する海面上昇の割合が一定であり，気温上昇 1℃につき約 5 ~10 cm の範囲で海面が上昇していることが分かる．

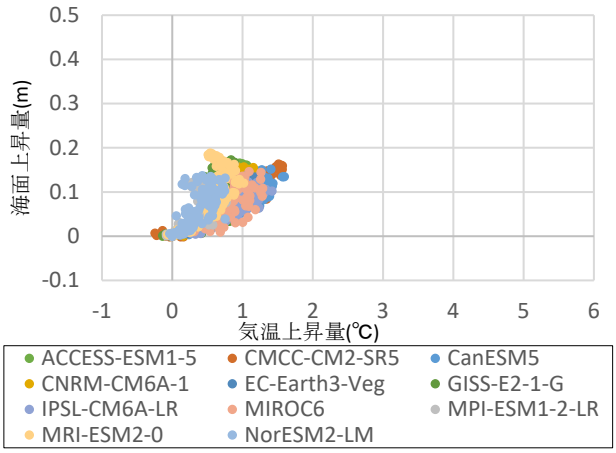


図-7　SSP1-2.6 における海面上昇量と気温上昇量の関係

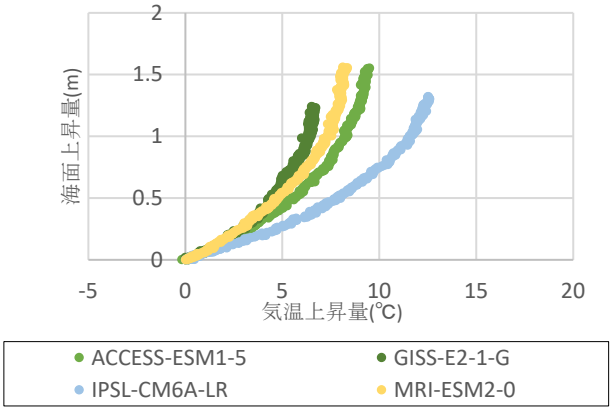


図-8　SSP5-8.5 における長期拡張

図-7 に SSP1-2.6 における気温上昇と海面上昇の関係を示す．このシナリオでは，SSP5-8.5 と異なり気温が安定化するモデルが多かった．よって，気温上昇が止まっても海面は上昇し続ける結果となり，気温上昇と海面上昇との間に明瞭な関係を見いだすことはできない．

(4)　長期拡張

2300 年までの気温・海面上昇データが存在するモデルは 4 個(ACCESS-ESM1-5, GISS-E2-1-G, IPSL-CM6A-LR, MRI-ESM2-0)あったため，これらのモデルの分析結果を示す．図-8 に 2015 年から 2300 年までの SSP5-8.5 における気温上昇量と海面上昇量の関係を表す．どのモデルも 2150 年までは一定の水準で気温と海面が上昇しているが，2150 年を過ぎてから気温の上昇量が減少し始め，2250 年を過ぎてから気温が安定化している．それに対して海面水位は 2300 年まで一定の水準で上昇を続けている．このことから，排出量の多いシナリオでも SSP1-1.9 や SSP1-2.6 と同様に気温が安定化した後も海面が上昇することが予想される．

5. まとめ

本研究では，将来の海面上昇と気温上昇，さらにはそれらの関係について 11 個のモデルの出力を用いて評価を行った．以下に本研究で得られた結論を示す．

- 2100 年までの海面上昇量は，2015 年を基準として，SSP5-8.5 で約 0.27~0.4m，SSP3-7.0 で約 0.22~0.33 m，SSP2-4.5 で約 0.14 ~ 0.25 m，SSP1-2.6 で約 0.12 ~ 0.19 m，SSP1-1.9 で約 0.1 ~ 0.16 m であった．また，気温上昇量も，SSP5-8.5 で約 3.0~6.0℃，SSP3-7.0 で約 2.5 ~4.7℃，SSP2-4.5 では約 1.3~2.7℃，SSP1-2.6 で約 0.4 ~1.5℃，SSP1-1.9 で約 0.02~0.77℃上昇する．上昇量は気候モデルによって異なる．
- SSP5-8.5 や SSP3-7.0 では気温が 1℃上昇するごとに海面水位が約 0.05 ~ 0.1 m の範囲で上昇することが分かった．この上昇割合はどのモデルでも変わらず，気温が安定化するまでは気温に対する海面水位の上昇量はほとんど変化しない．一方で，SSP1-2.6 は気温上昇が少ないためばらつきがある．
- すべての SSP シナリオにおいて，気温が安定化しても，海面水位上昇は進んでいくことが見てとれた．SSP5-8.5 では 2100 年までの分析では気温上昇に対して海面上昇が単調に推移しているが，長期拡張を考慮すると，同様の傾向がみられた．

謝辞：本研究は，環境研究総合推進費 S-18-3(1) (JPMEERF20S11811)の支援を受けて実施された．

REFERENCES

1) IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. In Press.
2) Brian C. O'Neill, Claudia Tebaldi, D P. van Vuuren, Veronika Eyring, Pierre Friedlingstein, George Hurtt, Reto Knutti, Elmar Kriegler, Jean-Francois Lamarque, Jason Lowe, G A. Meehl, Richard Moss, Keywan Riahi, and B M. Sanderson: The Scenario Molel Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6: Geoscientific Model Development, 9, 3461-3482, 2016.
3) PCMDI - An Earth System Model Evaluation Project https://pcmdi.llnl.gov/index.html
4) WCRP CMIP6 https://www.wcrp-climate.org/