

温暖化時の北太平洋の海霧変化のメカニズム

川合秀明、神代剛、遠藤洋和、荒川理

a). はじめに

中緯度海洋上にしばしば発生する海霧は、人間生活においても海上交通等に大きく影響し、また、地球の放射収支への影響も無視できないため、気候予測における重要なターゲットであるが、先行研究はほとんど存在しない。Kawai et al. (2016)では、MRI-CGCM3 (Yukimoto et al. 2012) を使った、amip (観測された海面水温 (SST) を与える)、amip4K (SST を一様に 4K 上昇させる)、amipFuture (SST を空間パターンをもたせて (CMIP3 マルチモデル平均) 全球平均で 4K 上昇させる) の実験結果を解析し、温暖化時の海霧の変化について調査した。その結果、暖気移流の変化と海霧の変化がよく対応していることが示された。これは、海霧のほとんどが、冷たい海洋上を温かい南風が吹く際に、暖気に含まれる水蒸気が海面によって冷やされて凝結することで生じる移流霧であるためである。今回は、CMIP5 のマルチモデルデータの海霧分布の再現性をまず明らかにし、その後、マルチモデルにおける霧の温暖化時・二酸化炭素増加時の変化を調査した (Kawai et al. 2018)。本研究では、モデル面第一層の雲を霧とみなす。

b). 結果

まず、CMIP5 のマルチモデルデータの海霧分布の再現性を調査したところ、海霧分布はモデルによって大きく異なること、北半球の夏の海霧分布は多くのモデルが比較的良好に表現しているが、一方で冬にはその再現性がかなり悪いことがわかった (図略)。従って、ここでは、マルチモデル

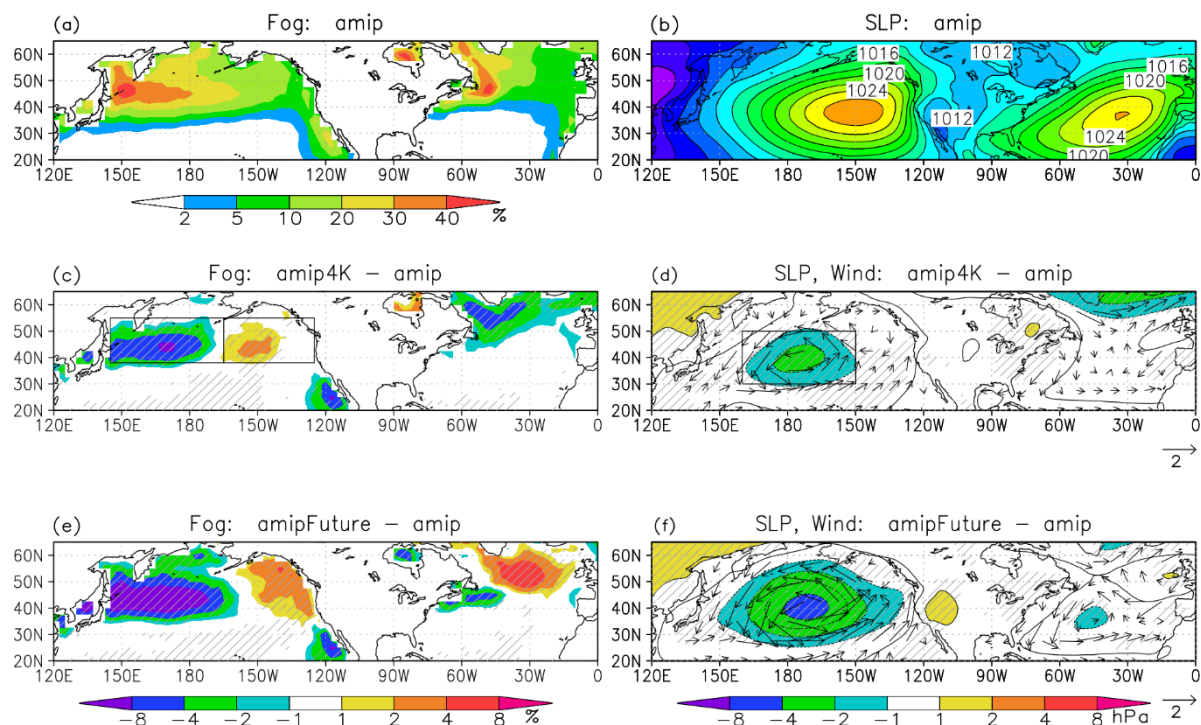


図 1 (a)は7月の霧の発生頻度 (単位%) の気候値 (amip)、(c, e)が amip と SST 上昇実験との差。(b)は海面気圧 (単位 hPa) の気候値 (amip)、(d, f)が amip と SST 上昇実験の差。(c, d)が amip4K - amip、(e, f)が amipFuture - amip の差。10 個の CMIP5 モデルのアンサンブル平均。ハッチは 80%以上のモデルの変化の符号が一致する領域を示す。いずれも 1979-2008 年 (30 年) のデータを使用している。

の霧の表現の信頼性の高い北半球 7 月を対象に、マルチモデルにおける霧の温暖化時の変化を調査した。

SST を上昇させた場合、北半球の夏季には、北太平洋の西部で霧が減少し、北太平洋の東部で霧が増加する傾向が見られた (図 1)。これらの霧の変化は、温暖化に伴う北太平洋高気圧の弱化によって、北太平洋西部で暖気移流が弱まり、また、北太平洋東部では暖気移流が強まることに対応している (図 1)。こうした霧の変化、気圧の変化パターンは、CMIP5 のほとんど全てのモデルで一致している。また、この変化は amip4K でも、amipFuture でも共通して見られると共に、Kawai et al. (2016) で MRI-CGCM3 モデルの結果として示された変化と類似しており、マルチモデルでもその変化が支持されたと言える。

一方、SST を変えずに二酸化炭素のみを増加させた場合 (amip4xCO₂) には、北太平洋高気圧が強まる (図 2)。この場合、単純に推測すると、上述の SST を上昇させた場合と対照的に、海霧は北太平洋西部で増加し、東部で減少しそうに思われる。図 2 を見ると、確かに、南風が強まっている太平洋西部で霧の増加が大きいが、全域で霧は増加している。そこで、大気鉛直構造を見てみる。二酸化炭素のみを増加させた場合には、Kamae et al. (2015) で指摘されているように、大気境界層の温度プロファイルが非常に安定となり、乱流による水蒸気鉛直輸送が弱められる結果、境界層より上の自由大気で相対湿度が減少する一方、地表面近くでは相対湿度が上昇している (図 2)。これにより、中緯度は全球的に霧が増加することになる。そこに高気圧の強さの変化による水平移流の変化の効果が重ね合わせられることになる。

これらの結果は、北太平洋における海霧の発生が最も多く船舶の運航等の観点からも重要な 7 月を対象としたものであったが、6 月、8 月の結果は 7 月の結果とほぼ同等であった。また、海霧の発生頻度の気候値がモデルによって異なることを考慮し、それぞれのモデルの発生頻度を観測頻度で規格化した場合もほとんど同一の結果であり、結果の信頼性は高いと結論付けられる。

北太平洋高気圧の変化と北太平洋の霧の変化の東西コントラストの関係を図 3 に示す。北太平洋高気圧の変化は、SST を上げる実験 amip4K、amipFuture では全てのモデルで弱化する。また、全てのモデルにおいて、amipFuture の方が amip4K よりもその弱まりは大きい。一方、二酸化炭素濃度のみを増加させた実験 amip4xCO₂ では、全てのモデルで太平洋高気圧は強化する。そして、図 3 から、海霧の変化の東西コントラストは、北太平洋高気圧の変化と高い相関があることがわかる。また、気候変化に伴う両者の関係を過去の観測の年々変動 (高気圧の変動は JRA55、海霧

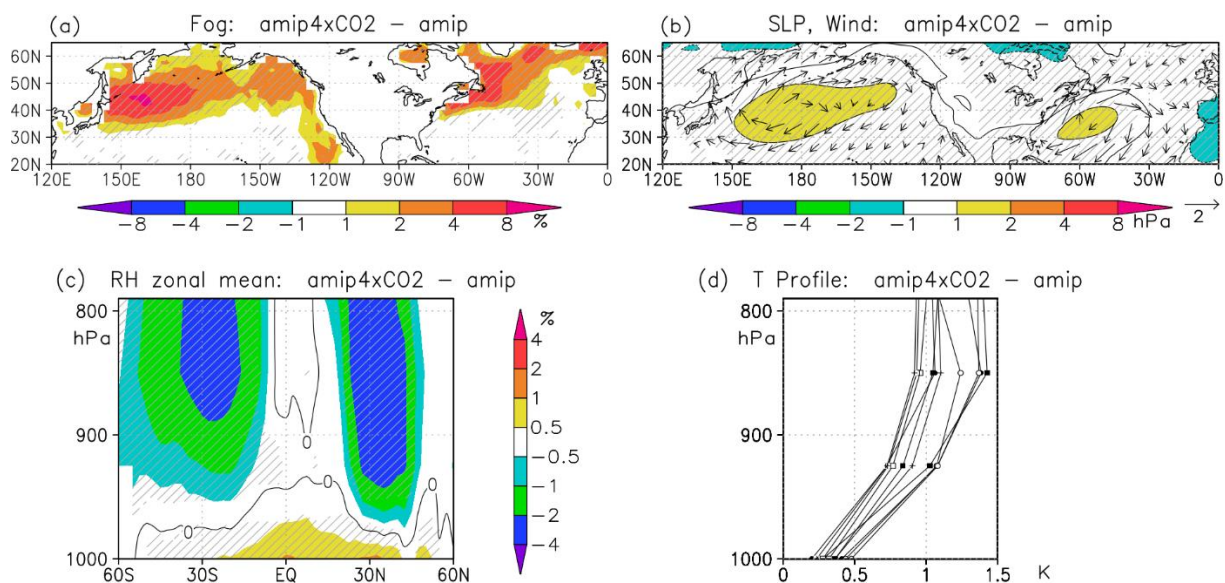


図 2 (a, b) 図 1 の(c, d)と同様。ただし、二酸化炭素濃度のみを増加させた実験 amip4xCO₂ と amip 実験との差。(c) 帯状平均相対湿度の変化 (%)。amip4xCO₂ と amip 実験との差を海上のみで平均。10 個の CMIP5 モデルのアンサンブル平均。ハッチは 80%以上のモデルの変化の符号が一致する領域を示す。(d) 温度プロファイルの変化 (K)。amip4xCO₂ と amip 実験との差を北半球中緯度(0–360°E, 20–65°N)の海上のみで平均。

の発生頻度は EECRA 船舶観測データを用いて求めた)における両者の関係と比較したところ、その傾きは定量的にもほぼ一致している(図略)ことが分かった。これらの結果は、北太平洋の海霧の変化が北太平洋高気圧の変化に伴う暖気移流の変化によってほぼ支配されており、北太平洋高気圧の変化がわかれば、海霧の変化も定量的に推測できることを示している(Kawai et al. 2018)。

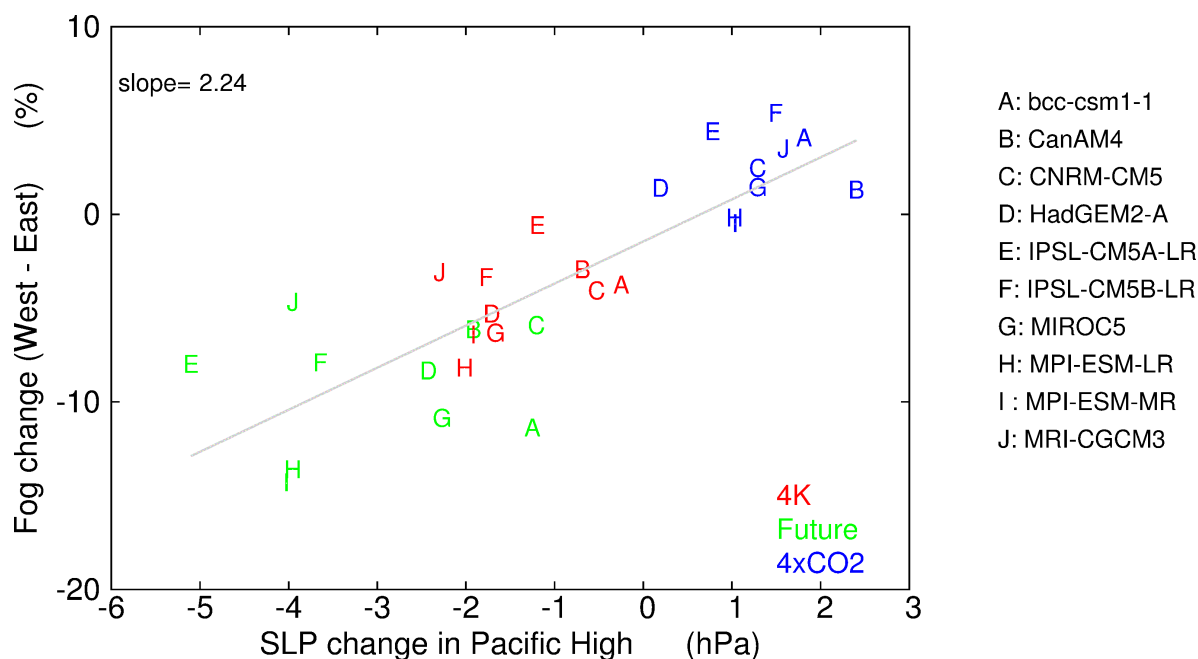


図3 北太平洋高気圧の変化(北太平洋中部(160-210° E, 30-50° N: 図1dの矩形)で平均。)と、北太平洋の海霧の変化の東西コントラスト(西部(145-195° E, 38-55° N)の変化から東部(195-235° E, 38-55° N)の変化を引いたもの。領域は図1cに示されている。)。7月を対象。amip4K(赤)、amipFuture(緑)、amip4xCO2(青)の、amip実験を基準にした差。それぞれ、10個のCMIP5モデルの結果。いずれも1979-2008年(30年)のデータを使用している。

参考文献

- Kamae, Y., Watanabe, M., Ogura, T., Yoshimori, M., and Shiogama, H., 2015: Rapid adjustments of cloud and hydrological cycle to increasing CO₂: a review. *Curr. Clim. Change Rep.*, **1**, 103-113, doi:10.1007/s40641-015-0007-5.
- Kawai, H., T. Koshiro, H. Endo, O. Arakawa, and Y. Hagihara, 2016: Changes in marine fog in a warmer climate. *Atmos. Sci. Lett.*, **17**, 548-555.
- Kawai, H., T. Koshiro, H. Endo, and O. Arakawa, 2018: Changes in Marine Fog over the North Pacific under Different Climates in CMIP5 Multi-Model Simulations. *J. Geophys. Res.*, **123**, 10,911-10,924.
- Yukimoto, S., Y. Adachi, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, E. Shindo, H. Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S. Yabu, A. Obata, H. Nakano, T. Koshiro, T. Ose, and A. Kitoh, 2012: A new global climate model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 -Model description and basic performance-. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 23-64.