

# 全球気候モデルの開発と地球温暖化予測

気候研究部 行本 誠史

## 1. はじめに

最近の異常気象や極端現象の頻発に伴って、それらの地球温暖化との関連について社会的関心が高まっている。また、今年（2007年）提出された気候変動に関する政府間パネルの第4次評価報告書（IPCC-AR4）によると、観測された地球温暖化はもはや疑う余地がないとされ、温暖化対策の緊急性が高まってきている。気象研究所では、温暖化予測のための全球気候モデル（MRI-CGCM2.3）を開発し、それによる実験データを提供してIPCC-AR4に貢献した。さらにこの全球気候モデルによる実験の海面水温などのデータは、同じく気象研究所で開発された地域気候モデルに境界値として提供され、より詳細な温暖化予測に貢献している。本報告ではIPCC-AR4に結果が提供された各種実験とそれらの結果の概要を紹介する。

## 2. 気候再現実験と気候変化予測実験

将来の気候変化の予測に対する信頼度を評価するため、人間活動の気候への影響がないと考えられる産業革命前の状態から現在までの気候変化を再現する実験（20C3M実験）を行った。これには人為起源の温室効果ガスや硫酸エアロゾルの濃度の他に、自然起源として太陽活動や火山噴火による放射強制力をモデルに与えた。この実験における気候変化を観測された過去の気候変化と比較することにより、モデルの気候変化の再現能力を評価した。また、比較のため温室効果ガス等の濃度を産業革命前の値で一定にした基準実験（P1cntrl）も行った。

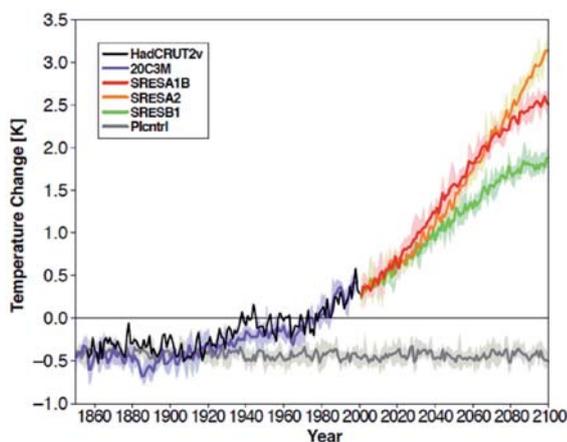


図1 全球年平均気温の経年変化。P1cntrl, 20C3M, SRESA1B, SRESA2, SRESB1の各実験に対するアンサンブル平均（実線）とアンサンブルのばらつき（最大-最小）。黒実線は観測（HadCRUT2v）。

21世紀の気候変化予測には、IPCCのSRESシナリオ（A1B, A2, B1）に基づく人為起源の温室効果ガスや硫酸エアロゾルの濃度変化を与えた。

実験結果から外的強制に対する応答としての気候変化と気候の内的要因による変動とを分離するため、各実験は異なる初期値による5メンバーのアンサンブル実験とした。

## 3. 気温の変化

産業革命以降20世紀末までの約150年間で、20C3M実験によると全球年平均気温が約0.7°C上昇（図1）している。これは観測された変化とほぼ一致している。観測には数十年規模の上昇率の変化がみられる。例えば20世紀初頭から1930年代は比較的大きな上昇、1940年代から1960年代はほとんど上昇が見られない。そして1970年代半ば以降急激な上昇を示している。モデルは1970年代以降の上昇率0.2°C/10年が観測とよく一致している。また数十年規模の上昇率の変化の大まかな傾向を再現してお

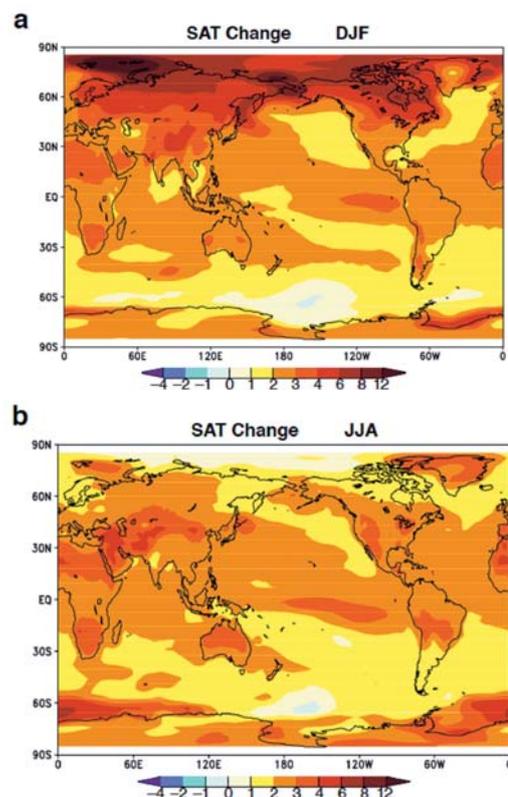


図2 地上気温変化の分布（単位：°C）。SRES-A1B実験2080-2099年平均の20C3M実験1961-1990年平均からの差。(a) 12～2月および(b) 6～8月平均。

り、観測された変化の大部分はモデルのアンサンブルのばらつきの範囲内である。しかし1940年代初頭の高温など観測と合わない部分もある。

将来の気温変化予測をみると、21世紀初めの20～30年はどのシナリオも20世紀末と同程度の上昇率である。1961-1990年平均を基準として21世紀末（2080-2099年平均）において、温室効果ガスの濃度シナリオにしたがって、最も高いA2シナリオ予測で2.7℃、中間のA1Bシナリオで2.4℃、最も低いB1シナリオで1.7℃の上昇を予測している。これらの値はIPCC-AR4に参加した全てのモデルの平均（マルチモデル平均。それぞれ3.1℃、2.7℃、1.8℃）に近いが全般に1割ほど低めである。

温暖化による気温変化の分布（図2）は季節によって異なる特徴を示す。冬季は高緯度の昇温が大きいことが挙げられる。特に北極海およびその沿岸が顕著で、海氷の減少が大きく影響している。夏季の北極域では、海氷が完全になくならない限り表面温度は0℃近くに保たれるため比較的昇温は小さい。低緯度の陸上の乾燥地域では特に夏季に昇温が大きい。これらの特徴はシナリオ間で共通しており、またIPCC-AR4のマルチモデル平均とよく一致している。このことはモデル予測の信頼性の根拠のひとつと言える。

#### 4. 降水量の変化

降水量の変化は農業をはじめとして社会的影響が大きいが、気候的に分布の非一様性が大きいため予測が難しい。図3は北半球夏季の降水量変化の予測結果の一例を示している。高緯度で全般に降水が増加し特に冬季で顕著であること、亜熱帯では減少する地域が多く特に夏季の地中海周辺で顕著であることなどが、我々のモデルの各シナリオ予測結果に共通して見られる。また、熱帯太平洋周辺は中部赤道で増加、インドネシア～オーストラリア北部で減少し、夏季の梅雨前線帯で降水量が増加するなど、エルニーニョ的な海面温度上昇と整合的である。これらの特徴もIPCC-AR4のマルチモデル平均と多くの共通点があり、降水量分布の予測についても信頼度が高いことを示唆している。

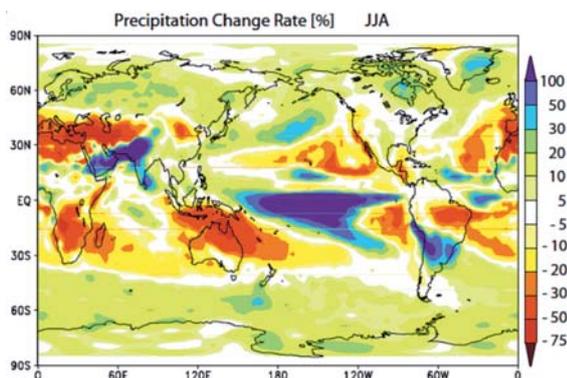


図3 図2と同様、ただし6～8月平均の降水量変化率（%）の分布。

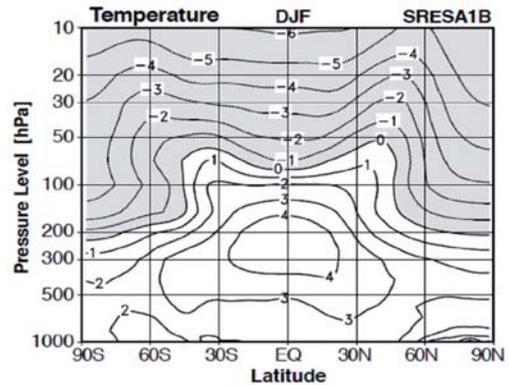


図4 気温変化の南北鉛直構造（12～2月平均、単位：℃）。SRES-A1B実験2080-2099年平均の20C3M実験1961-1990年平均からの差。

#### 5. 大気大循環の変化

温暖化に伴う大気大循環の変化を理解することは、熱帯低気圧の発生や北極振動など様々な現象の変化の理解に役立つ。大気の基本的な構造の変化を帯状平均気温の南北鉛直分布（図4）から推察することができる。

温暖化により全般に対流圏で気温は上昇し、成層圏では低下する。熱帯は対流加熱により上部対流圏に昇温の極大ができ、大気の鉛直安定度は強まると予想される。これは熱帯大気循環の弱まりを示唆し、熱帯低気圧の発生が減少する可能性を示している。一方、冬季の北半球高緯度では成層圏の冷却が下部成層圏で南北の温度傾度を強め、極渦の強化に働く。これが北極振動に似た構造をもたらすと考えられる。

#### 6. まとめ

全球平均気温の20世紀に観測された数十年規模の変化傾向を全球気候モデルは表現できている。IPCC-SRESシナリオに基づく将来の全球平均気温は、21世紀末に1.7℃～2.7℃上昇すると予測された。地上気温の変化の季節的及び地理的特徴は、シナリオ間で定性的に一致し、IPCC-AR4のマルチモデル平均ともよく一致している。降水量変化の分布も、IPCC-AR4のマルチモデル平均と共通点が多く、予測の信頼性を裏付けている。

その他に、赤道の循環の弱まりや北極振動的な変化など温暖化に伴う大気大循環の変化を示唆する結果が得られた。

#### 参考文献

Yukimoto S., Noda A., Uchiyama T., Kusunoki S., Kitoh A., 2006, Climate changes of the twentieth through twenty-first centuries simulated by the MRI-CGCM2.3, Papers in Meteorology and Geophysics, 56, pp. 9-24.