

北極域における温暖化増幅メカニズムの解明

野沢 徹¹, 杉本 敦子², 浮田 甚郎³, 榎本 浩之⁴, 青木 周司⁵, 高田 久美子^{4,6}

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科

² 北海道大学大学院地球環境科学研究院

³ 新潟大学大学院自然科学研究科

⁴ 国立極地研究所国際北極環境研究センター

⁵ 東北大学大学院理学研究科

⁶ 国立環境研究所地球環境研究センター

北極域における近年の気候変化は深刻かつ急激であり、北極気候システムのさまざまな要素にその影響が現れている。最新の観測事実によれば、北半球夏季における北極海氷面積は急速に減少しており、2012年9月には観測史上最小を記録した。地球全体の平均地上気温は1880年以降の百数十年間で約0.85°Cも上昇しているが、北極域では地球平均のおよそ2倍の速さで温暖化が進行している。これらの変化に呼応するように、グリーンランド氷床は後退し、永久凍土も融解し始めており、必然的に北極域の水循環や生態系などにも影響が及んでいる。

北極域は気候変動に対する感度が大きく、地球上の他の地域に先駆けて地球温暖化の影響が顕著に現れると考えられている。北極域の温暖化はいわゆるアイス・アルベドフィードバックにより増幅され、大気・海洋・陸面のさらなる温暖化や積雪・海氷・氷床・氷河のさらなる後退をもたらすことは、ほぼ疑いようがない。しかしながら、北極気候システムは高度に複雑であり、太陽活動や成層圏オゾン、対流圏エアロゾル、雲・水蒸気、炭素循環、陸面過程など、さまざまな要素・要因が複雑に絡み合っている。このため、北極温暖化増幅（polar amplification）のメカニズムやその全球的な影響をアイス・アルベドフィードバックのみで語ることは難しく、大気・海洋の熱輸送変化や植生・炭素循環のフィードバックなど、上述したさまざまな要素・要因を含めて総合的に理解することが必要である。

このような観点から、GRENE 戦略研究目標1においては、数値モデリングだけでなく陸域や大気、雪氷、炭素循環に関する研究課題が協力して、北極域における温暖化増幅メカニズムの解明に関する研究を推進してきた。本講演では、これらの成果をまとめた結果について報告する。

一点目は、北極温暖化増幅メカニズムの総合解析である。第5次気候モデル相互比較プロジェクト（CMIP5）に参画した大気海洋結合気候モデルによる数値シミュレーション結果32例に対して、地表面エネルギー収支に基づく気候フィードバック解析を適用し、地表面における北極温暖化増幅プロセスの相対的な寄与について解析を行った。北極温暖化増幅は夏季よりも冬季に顕著であり、北極海上のアイス・アルベドフィードバックは夏季に最大となるが、過剰となった熱量は海洋に吸収されるため、夏季における正味の温暖化増幅は小さいこと、秋季から冬季には、夏季に海洋に吸収された熱量が大気中へ放出されることに加え、雲の温室効果や大気温度の鉛直構造の変化などにより、北極域の温暖化が増幅されていること、陸上でのアイス・アルベドフィードバックは初夏に顕著であり、一部の熱量は蒸発冷却により大気中に放出されるものの、陸面による吸収は小さいため、海上ほど季節振幅が大きくはないこと、陸域においても、秋季から冬季にかけての温暖化増幅には雲の温室効果や大気温度構造の変化などが影響していること、などが分かった。

二点目は、個別フィードバックの解析および検討である。北極温暖化増幅メカニズムの総合解析により、秋季から冬季にかけての北極温暖化増幅においては、雲の変化による温室効果の増大が重要であることが分かったことから、MIROC5の過去再現実験を解析することにより、北極海の海氷減少にともなう雲量変化の気候影響について調べた。過去再現実験では、衛星観測結果と整合的な、長期的な海氷減少に起因すると思われる長期的な雲量増加が10月に見られた。対流圏下層では雲量の増加がみられるが、地表面により近い層では雲量の減少傾向もみられ、雲底高度が上昇していることを示唆している。雲の増加による下向き長波放射量への影響を調べた結果、地表面の下向き長波放射量において、CO₂や水蒸気の増加によると考えられる晴天時放射の増加に対し、追加的な雲による放射量増加が40~60%もあることが確認された。また、従来は認識されていなかったフィードバック過程として、大気循環（残差循環）の変化が北極温暖化増幅をもたらす可能性について新たな知見が得られた。残差循環は大気擾乱（運動量、熱）により駆動され、大気中での物質循環を近似していると認識されており、この循環は極域では下向きの流れを持つ。今回、AFESによる海氷減少実験の解析から、海氷が少ない状況下では残差循環が強化され、極域では下降気流が強化されることにより、北極域対流圏では断熱加熱をもたらすことが示唆された。この結果は観測（客観解析）データとも整合的であり、海氷減少と残差循環の強化に何らかの関係があることを示唆するとともに、力学的なプロセスによる新たな温暖化増幅メカニズムの存在を意味している。観測的な研究からは、積雪・アルベドフィードバックの定量化や、炭素循環フィードバックの影響についても検討を加えた。