

# 「北ユーラシア気候変化・水循環変動に関する研究集会」

## 報告\*1

浅沼 順\*2・大畑 哲夫\*3・太田 岳史\*4・榎本 浩之\*5  
 兒玉 裕二\*6・杉本 敦子\*7・藤吉 康志\*8・山崎 剛\*9

### 1. はじめに

GAME以降、北ユーラシアにおける気候・水循環研究は、CRESTの各課題やJAMSTEC, JAXA, 旧国研などの研究機関によって、特定の課題や現象に焦点を当てた個別プロジェクトの形で進められてきた。GEOSsや国際極地年(IPY)、欧米での北ユーラシア地域研究の開始など、国際的な枠組みの変化や、国内の研究体制・環境の変化を背景に、日本発のこの地域の気候・水循環変動研究の枠組みを再度、拡張し構築する必要に迫られている。有志の間で検討した結果、北緯40度以上の北ユーラシアおよび周辺地域を中心に、水循環・気候変動、植生変動、雪氷・凍土、大気・陸面相互作用などをキーワードとして、コンソーシアム(CABIN, Changing Cryosphere-Atmosphere-Biosphere Interaction in Northern Eurasia)を設立し、相互連携による研究強化、共同研究の推進を目指すことが望ましいということになった。

このCABINの準備集会として、2006年7月3、4日の2日間にわたって、JAMSTEC横浜研究所三好記念講堂において、表記、研究集会が開かれ、計48件の発表と約70名の出席者があった。発表のあらましと研究集会での議論の内容を紹介する。

以下、発表に関しては共著者を除いた発表者のみの紹介とする。(大畑哲夫)

### 2. 地表面水・熱・物質収支

北ユーラシアでの気候と水循環変動に関する研究を進めるためには、「寒冷圏特有の陸域」と「寒冷圏特有の大気」との地域スケールから大陸スケールの相互作用の研究が不可欠である。本セッションでは、これまでに実施されてきた観測及びモデル研究の結果をもとに、以下の5件の発表と観測提案が行われた。小谷(JST/筑波大学)は、モンゴル草原地帯での航空機によって観測された気温の分散値から広域スケールでの地表面フラックスの算出結果を報告するとともに、エコトーン(植生変遷域)での地表面過程研究の重要性を指摘した。朴(JST/IORGC)は、北ユーラシア、特にレナ川流域の陸面水収支の経年変動への植生変動の関与を指摘し、モデルを用いた水循環への気候・植生影響評価研究を提案した。中井(JST/北海道大学低温科学研究所)は連続する2つの発表において、林内乱流による熱や物質輸送について、融雪期の逆転層の形成やランプ構造の解明が重要であること、また温暖化影響評価において、凍土と土壤水分の変動に対する植生の生理応答の予測が重要であると示した。

(藤吉康志・浅沼 順)

後半のセッションでは、冬期間の雪の昇華や着雪、および草原の水・熱フラックスなどについての研究提

\*1 Report on "Symposium on Climate and Hydrological Change in Northern Eurasia".

\*2 Jun ASANUMA, 筑波大学陸域環境研究センター。

\*3 Tetsuo OHATA, 海洋研究開発機構地球観測研究センター。

\*4 Takeshi OHTA, 名古屋大学大学院生命農学研究科。

\*5 Hiroyuki ENOMOTO, 北見工業大学土木開発工学科。

\*6 Yuji KODAMA, 北海道大学低温科学研究所。

\*7 Atsuko SUGIMOTO, 北海道大学大学院地球環境科学研究科。

\*8 Yasushi FUJIYOSHI, 北海道大学低温科学研究所。

\*9 Takeshi YAMAZAKI, 東北大学大学院理学研究科/海洋研究開発機構地球環境観測研究センター。

案がなされた。まず兒玉（北海道大学低温科学研究所）は、冬期陸面の水・熱フラックスは下層大気に形成される強い逆転層に規定されるが、その上空にある大気が地表面付近の冷気層をどのように変化させるのかを明らかにする必要があることを指摘した。続いて杉浦（IORGC）は、吹雪粒子からの昇華量は冬期に風の強い地域で大きく、吹雪層のエネルギー交換も冬期の水・熱循環の解明に重要であることを指摘し、吹雪を記述するモデルの高精度化に向けて観測実験を行うことを提案した。張（IORGC）は、これまでにモンゴルで得られた観測結果から、積雪面からの直接の昇華と融解時の蒸発あわせて、降雪量の20%以上が失われることを示し、その重要性を指摘した。また、流域スケールや北ユーラシア全体でその量を見積もるためのモデルの開発を提案した。浅沼（筑波大学TERC）は、モンゴル草原での夏季の境界層フラックス観測データから、メソスケールの30分程度の時間スケールの波長にも水・熱輸送が見られる可能性を指摘した。この問題はフラックスのインバランスを説明する可能性もあり、乱流スケールとメソスケールの関連を解明する研究を提案した。また、RAISEグループによる今後の研究計画を紹介した。セッションの最後に山崎（東北大学大学院理学研究科/IORGC）は、陸面過程、水・熱循環で今後必要な研究について発表した。冬期間は、降水量の把握、吹雪に伴う昇華量、積雪の再配分、着雪の問題を解決する必要がある、暖候期は、蒸発散過程が重要であり、植生のふるまいを正確にとらえる必要があること、降水の日変化パターンの理解が遮断蒸発量の見積もりに必要であることを指摘した。また、河川流量や長期変動の解明に対しても、降水量分布や蒸発散過程は重要であり、河川流出量の変化が及ぼす気候への影響も重要な研究課題であると指摘した。（杉本敦子）

北ユーラシアの陸面過程においては、安定条件下の乱流過程、昇華や吹雪・着雪などの高緯度で特徴的な現象や、植生活動やその変動との相互作用が、相対的に重要となる。また今後は、観測データの解析からモデル研究へ、ポイント研究からより大きな空間範囲を対象とした研究の比重が大きくなっていくであろう。

（浅沼 順）

### 3. 植生・炭素過程

本セッションでは森林を対象とした水・炭素循環に

関する6件の研究提案があった。太田（名古屋大学大学院生命農学研究科）は、レナ川流域を中心にツンドラ・ツンドラ・タイガ遷移帯-中部タイガ-レナ川南部に観測網を設ける観測計画を提案し、北方林地域での水循環に対する森林の生理生態的応答特性の時空間分布の理解の必要性を指摘した。鈴木和良（IORGC）は、北方大陸河川でアイスジャムによる融雪洪水被害が頻発していることを指摘し、河川氷の熱収支的観測と既存データの解析の必要性を提案した。中井（森林総合研究所）は中央シベリア・ツラでのCO<sub>2</sub>フラックスの観測結果を紹介した。そして、今後はフラックス観測と生態系観測のリンク、理解が不十分な寒冷圏陸面過程の理解の必要性を述べた。三枝（産業技術総合研究所）は、カラマツが北方林の主要樹種であるにもかかわらず、これを対象とした比較研究は希少であり、予算枠などを越えた共同研究の必要性を指摘した。末田（愛媛大学農学部）は、航空機搭載型レーザーによる広域森林バイオマス量の計測の有用性を示し、温暖化の影響検出のために北ユーラシア地域での、早期の観測の開始と観測体制の整備の必要性を指摘した。飯田（JST/名古屋大学大学院生命農学研究科）はヤクーツク・カラマツ林での樹冠上、林床上での渦相関法による観測結果の解析より下層植生の水・炭素循環に対する重要性を指摘した。本セッションの発表・研究提案より、1）北東アジアではすでにかなりの数となっている地上フラックス観測サイト間の相互の連携をとった横断的解析の推進、2）北方林特有の疎な森林構造での水・炭素循環特性の正確なパラメータ化、3）各プロセスの理解の上での過去、将来を含めた森林の動態、生理活性と水・炭素循環の応答に関する時間変動の理解、4）広域での植生バイオマス量の定量化、が今後の重要な課題であることが明らかになった。（太田岳史）

### 4. 降水過程

降水過程のセッションでは、計5件の研究発表・提案があった。遠藤（IORGC）は、GPCPなどのグローバル降水データセットのモンゴル地域の降水量の問題点を指摘し、ウランバートル空港レーダーと雨量計網を用いた、面積降水量の検証観測を提案した。藤吉（北海道大学低温科学研究所/FRCGC）は、冬季に北東ユーラシアに発達するシベリア高気圧の形成要因の1つとして、シベリア寒気核の形成過程を挙げ、レナ川中下流域での境界層観測・レーダー観測・航空

機観測を含む観測計画を提案した。斉藤和之 (FRGC) は、東シベリアの積雪や凍土などの陸域システムと地域および全球の気候変動の相関を指摘し、この地域の様々な生態-気候ゾーンでの、大気、水文、生態生物、土壌の継続的な観測の必要性を強調した。岩崎 (群馬大学教育学部) は、モンゴル地域の降水量の年内変動パターンに、7月中旬に雨期の「中休み」がある「谷型」とそうでない「山型」があることを指摘し、定在ロスビー波との関係を示唆した。

(浅沼 順)

### 5. 衛星リモートセンシング

衛星リモートセンシングに関連しては、計7件の発表があった。岩崎 (群馬大学教育学部) は、モンゴル乾燥草原における放牧において夏季のNDVIが、1~2か月前の降水量および先行する冬季の気温とよい相関を持ち、その予測可能性があることを指摘した。松島 (千葉工業大学) は、熱収支式のバルク式の諸パラメータを熱赤外の衛星輝度温度で最適化し、モンゴルの半乾燥草原における地表面フラックスの広域分布の推定に取り組んでいる。今回はその過程で見出された、蒸発効率と土壌の熱慣性が表層土壌の体積含水率と高い正の相関があることから、表層土壌水分状態の広域分布を議論した。鈴木力英 (FRGC) は、ALOS衛星のPALSARセンサーのL-bandを用いて森林のバイオマスの広域分布を推定できる可能性を示し、そのアルゴリズム開発のためにレラスコープなどを使ったバイオマスの現地測定が必要であることを述べた。また、この手法はタイガ-ツンドラの遷移帯の移動のモニタリングに有効であるだろうと述べた。酒井 (千葉大学大学院自然科学研究科) は、気象衛星NOAAによるNDVIの約20年間のデータを解析し、北方森林域の植生活動の活発化を示した。特に北方森林域の北側でNDVIの年間最大値の増加が顕著で、その変動の実態を調査する必要性を述べた。榎本 (北見工業大学) は衛星データを利用した雪氷研究の可能性を示し、SSM/Iのascendingとdescendingのパスの差をとると融雪地域がわかること、積雪深分布は森林域でunder-, ツンドラ域でover-estimateとなること等を示した。山本 (名古屋大学大学院生命農学研究科) はLAIについて現地調査・ASTER衛星画像・MODIS衛星画像を組み合わせたマルチスケールの解析を行い、MODIS LAIの広域的な精度検証を行った。ASTERとMODISのLAIはあまり良い相関を

示さなかったが、衛星データを他の衛星データで検証できる可能性を示したことは画期的であった。開発 (広島大学大学院総合科学研究科) は、土壌水分、積雪分布の時空間変動の対象とした衛星と地上観測について、モンゴル高原でのこれまでの実績とCEOP2などに関連した今後の計画について紹介した。

(兒玉裕二)

### 6. 雪氷・凍土と気候変動

北ユーラシアにおける気候変動の特徴である土壌の凍結融解とガス放出、永久凍土域の変化、シベリアの氷河変動についての以下の5件の発表が行われた。

- (1) アラスにおける土壌の凍結融解が亜酸化窒素発生に及ぼす影響 (柳井:東京農工大学), (2) 寒冷積雪地域における土壌凍結・融解に伴う温室効果ガスの発生機構の解明 (徳本:岩手大学大学院連合農学研究科), (3) 北ユーラシアにて推進すべき凍土観測研究 (石川:北海道大学地球環境科学研究所/IORGC), (4) Monitoring frozen ground in the source area of YellowRiver, China: Potential feedback between drought and permafrost degradation? (末吉:北海道大学低温科学研究所), (5) 東シベリアの氷河分布と気候変化 (高橋:北見工業大学)。これらの発表では、土壌の凍結融解におけるガスの放出メカニズムの検討、フィールドサーバなどの新ネットワーク観測装置を用いた温室効果ガスの発生と移動の観測提案、永久凍土分布の変動の観測として活動層水熱循環過程と大気相互作用、衛星・地上観測による土壌の凍結融解状態の広域把握、凍土長期変動、高山域での温暖化と下限高度の相乗効果による急激な変化や地下水流動を含めた流域の水循環へ影響を与えることが紹介された。また、過去50年間の氷河変動と寒極といわれるオイミヤコン周辺の気候との関係も紹介された。

(榎本浩之)

### 7. 水・物質循環変動

本セッションでは大気、河川、地下水、海洋における水・物質循環に関する研究提案が、計6件行われた。石井 (北海道大学低温科学研究所) は、近年の北極域大河川の流出解析に関する研究成果をレビューした。今後は、より短い単位時間データ (日流量) を用いた解析、流域平均降水量の精度向上、各種トレーサを用いた水循環成分の導出の必要性を述べた。辻村 (筑波大学大学院生命環境科学研究科) はモンゴルに

おける水資源としての地下水の重要性を指摘し、半乾燥域における水資源管理計画策定のために地下水の流動系の現状把握とその涵養機構を明らかにする必要性を述べた。三寺（北海道大学低温科学研究所）は環オホーツク栄養物質循環計画を紹介した。オホーツク海では温暖化の影響のため中層水の物質輸送が低下していることが指摘されており、これにはアムール川のオホーツク海への影響が無視できないことを述べた。黒崎（千葉大学 CEReS）は東アジアにおけるダストの発生機構に関する研究成果と今後の課題について述べた。今後は、これらの地表面状態と臨界風速の関連を明らかにすることが必要であることを指摘した。杉本（北海道大学地球環境科学研究院）は、北ユーラシア地域でのエコトーンの評価、凍土の活動層厚の変動による物質輸送の変動、諸現象の大きな年々変動の評価の重要性を指摘した。安定同位体を用いた種々の現象解明の可能性を示し、今後研究分野を越えた水と物質の循環系の総合的観測の必要性を強調した。栗田（IORGC）は、安定同位体を用いた降水-陸面-大気境界層の一連の相互作用の研究の必要性を示し、現在までの降水-土壌水分-蒸発散過程の観測およびモデル研究を総括した。そして、今後は北東ユーラシアでの降水システムの一般性の検証、気象観測に応じた新たな同位体計測手法の開発を提案した。本セッションでは水のみでなく「物質」の循環も対象としたセッションであったが、多岐にわたる「物質」についての発表が行われた。このことは、水循環の理解の重要性をあらためて認識させられると同時に、北ユーラシア研究を担うコミュニティの奥の深さと科学としての方向性の共有の難しさを感じた。（太田岳史）

### 8. 北ユーラシアの気候変動

中尾（総合地球環境学研究所）はモンゴルにおける人間活動と環境変化の相互作用について、歴史的な遊牧王朝の興亡史の復元を通して、現在の環境問題の解決を目指す地球研のプロジェクトを紹介した。立花（JAMSTEC/東海大学）は2つの「AO」、すなわち北極振動（Arctic Oscillation）とアムール川流量・オホーツク海水量（Amur river Okhotsk ice）の関係について論じた。アムール川流量とオホーツク海水量には負の相関があることが示されているが、それには夏・冬の北極振動が深く関わっていることを示した。今後の課題は北極振動の長期持続性の解明である。柏谷（金沢大学自然計測応用研究センター）はバイカル

湖とモンゴルのフブスグル湖の湖底堆積物から長周期環境変動を推定する研究を紹介した。

高田（FRCGC）は陸面モデル MATSIRO に Liston のサブグリッド積雪被覆率のモデルを組み入れた予備的な研究結果と今後の計画を紹介した。佐藤（東京大学 CCSR）は領域気候モデルによりモンゴルの温暖化や植生変化に伴う気温・降水量の変化について論じた。気温の変化は温暖化時の方が顕著であるが、降水量の変化は複雑な振る舞いであることを示した。荒井（東京大学 CCSR）は再解析データと大気大循環モデルによって、春季のシベリア地表気温とオホーツク海ブロッキング高気圧の関係を論じた。持続性に関して土壌-大気相互作用が鍵を握る可能性を示唆した。大島（北海道大学地球環境科学研究院）はデータ解析による両極域大気水循環の季節変化の特徴と AGCM による植生変化が大気へ与える影響の研究を紹介した。また、検証のために降水量をはじめとする水循環関係の信頼できるデータが必要であると述べた。これはモデルによる水循環の研究をする者にとっては共通の願いであろう。特に高緯度帯の降水・降雪量の時空間分布の把握が急務である。（山崎 剛）

大畑（IORGC）は、北ユーラシア地域における研究課題として、凍土積雪帯での陸面過程のモデル、GCM での雪氷現象、温暖化の凍土への影響、同位体モニタリングによる陸域及び大気循環変動のモニタリングを挙げ、コンソーシアムの必要性を強調した。矢吹（IORGC）・筒井（東京大学大学院工学系研究科）は、CliC-CEOP の共同研究による寒冷圏研究の計画として、CliC による CEOP プロダクトの積極利用、CliC による寒冷圏サイトの CEOP レファレンスサイトへの登録、CliC-CEOP 共同による衛星アルゴリズムの開発やプロセス研究などを紹介した。武田（帯広畜産大学）は、フブスグル湖周辺における調査結果から、水収支の変化と永久凍土の関係、森林の衰退と拡大、気温逆転層、乾燥化の進行などについて報告した。最後に飯島（IORGC）は、東シベリアの中でヤクーツク周辺域で最も早く消雪が起こる原因を、1か月前からの水蒸気収束に伴う雲量の増加と下向きの長波放射の増加であるとし、東シベリア陸面の偏差と東アジアの気候変動システムに関連に関する研究の必要性を示した。

（浅沼 順）

## 9. 総合討論

2日間の研究提案の最終セッションは総合討論として、サイエンスとしての問題に関する議論に加えて、CABINのあり方について、議論が行われた。CABINの性格づけとしては、北ユーラシアにおいて研究を行っているプロジェクト、研究機関、プロジェクトを申請中のグループ、研究を計画中のグループの緩い、すなわち強い拘束力を持たない連携体とすること、コミュニティを形成するプロジェクト、グループに共通するキーワードは、「水循環」、「時間変動」であること、将来的には国際的なコンソーシアムを目指すこと、また場合によっては、海外の参加者を計画立案段階から参画してもらう必要があり、これに関しては今後の検討事項であること、などが議論された。また、現段階でコミュニティ内にて行える共同作業としては、以下のようなものが考えられる。

**現地観測などにおける情報の交換：**特にロシアでは近年、観測上の制約が増しており、これらを円滑にするための方法などの情報を共有する。

**現地データセットの共有：**GEOSS 関連でデータ統合センターの計画も進行しているが、より小規模なデータセットレベルでの共有がまず必要ではないか。現在公開している、あるいは公開可能なデータセットのリストをまず作成する。

また、今後のCABINの運営は、本研究集会の呼びかけ人、すなわち大畑、太田、浅沼、開発、木本（東京大学CCSR）、杉田（筑波大学大学院生命環境科学研究科）、兒玉、藤吉、山崎、溝口（東京大学大学院農学生命科学研究科）、杉本、榎本、増田（JAMSTEC/FRCGC）に中井、石川を加えた幹事会にて議論することとした。早急の課題としては、science planの作成がある。また、CABINのメンバーリストを名古屋大学生命農学研究科にて立ち上げることとした。メンバーリストへの参加は、cabin-admin@agr.nagoya-u.ac.jpへ申し込まれたい。（太田岳史）

## 10. おわりに

本研究集会を経て、北ユーラシアの地域研究コンソーシアムとしてCABINが発足した。研究集会において発表された研究提案は、今後CABINの中心的な

研究内容になるであろう。また、CABINが目指す研究計画像を明確にし、CABINの持つべき研究基盤の整備を急ぐ必要がある。地域内のカウンターパートとなる各国の研究者とCABINに関する議論が必要である。

## 略語一覧

- AGCM : Atmospheric General Circulation Model 大気大循環モデル
- CCSR : Center for Climate System Research 東京大学気候システム研究センター
- CEOP : Coordinated Enhanced Observation Period 統合強化観測期間（第2期では、Coordinated Energy and Water Cycle Observation and Prediction, 統合水・エネルギー循環観測および予測）
- CEReS : Center for Environmental Remote Sensing 千葉大学環境リモートセンシング研究センター
- CLiC : Climate and Cryosphere 気候と雪氷圏計画
- CREST : Core Research for Evolutional Science and Technology JST 戦略的創造研究推進事業
- FRCGC : Frontier Research Center for Global Change JAMSTEC 地球環境フロンティア研究センター
- GAME : GEWEX Asian Monsoon Experiment GEWEX アジアモンスーン実験計画
- GEOSS : Global Earth Observation System of Systems 全球地球観測システム
- GPCP : Global Precipitation Climatology Project 全地球降水気候計画
- IORGC : Institute of Observational Research for Global Change JAMSTEC 地球環境観測研究センター
- JAMSTEC : Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (独) 海洋研究開発機構
- JAXA : Japan Aerospace Exploration Agency (独) 宇宙航空研究開発機構
- JST : Japan Science and Technology Agency (独) 科学技術振興機構
- RAISE : The Rangelands Atmosphere-Hydrosphere-Biosphere Interaction Study Experiment in North-eastern Asia JST/CREST による研究課題「北東アジア植生変遷域の水循環と生物・大気圏相互作用の解明」（代表：杉田倫明，筑波大学大学院生命環境科学研究科）
- TERC : Terrestrial Environment Research Center 筑波大学陸域環境研究センター