

# 寒冷圏における大気－雪氷－植生相互作用の解明

—北海道大学低温科学研究所・研究プロジェクトと外部評価—

北海道大学低温科学研究所

2002

## はじめに

北海道大学・低温科学研究所では、1996年度より2000年度まで、COE (Center of Excellence) 研究プロジェクト「オホーツク海と周辺陸域における大気－海洋－雪氷圏相互作用」が行われた。さらに、2001年度より5年計画で研究プロジェクト「寒冷圏における大気－雪氷－植生相互作用の解明」を計画している。北半球で最も低緯度に位置する季節海氷域であるオホーツク海は、1996－2000年度の低温科学研究所 COE 研究プロジェクトで詳しく研究された。従って、研究の連続性を考え、本研究プロジェクトの研究対象域は、オホーツク海を取り巻く北海道、華北、東シベリア、そしてカムチャツカである。これらの地域を対象に野外調査・観測、実験およびモデリングを行い、大気－雪氷－植生相互作用のプロセスとメカニズムを解明し、地球規模の環境変化がこれらの地域の気候システムおよび生態系に及ぼす影響の解明を目指している。さらに、将来は、オホーツク海－周辺陸域－大気の相互作用を解明することを目指したいと考えている。本研究プロジェクトには、以下の4つの分野が含まれており、それらの間で有機的な共同研究を行うことにより学際的な研究プロジェクトを目指している。

- (1) 植生動態 (生態、生理)
- (2) 陸面過程、エネルギー・水・物質循環
- (3) 過去の気候変動と植生変動
- (4) 気候－植生相互作用系の理論モデリング

本研究プロジェクトを推進するにあたって、本研究プロジェクトの研究計画を広く知っていただき情報交換を行う場として、さらに外部評価を実施するために2001年12月4－5日に低温科学研究所において国内外の研究者を招きシンポジウムを行った。この報告書は、そのシンポジウムの記録であり、本研究プロジェクトに関する研究と今後の計画（低温科学研究所の研究者による）、本研究プロジェクトに関連した研究分野における国内外の著名な研究者による各研究分野のレビュー（低温科学研究所以外の研究者による）そして外部評価委員による評価報告が含まれている。貴重なアドバイスを頂いた多くの方々に感謝申し上げますとともに、一層厳しい目で本研究プロジェクトの行く末を見ていただきたい。

これらの有意義な評価提言に沿って本研究プロジェクトを推進する決意ですので、今後とも関係各位のご意見、ご批判をいただけますようお願いする次第です。

2002年3月24日

北海道大学低温科学研究所  
原 登志彦



by Eugene Vaganov

(V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences)

## 目 次

	頁
1. 北海道大学低温科学研究所・研究プロジェクト（総論）……………	1
2. 各研究プロジェクト	
(1) 植生動態（生態、生理）……………	5
(2) 陸面過程、エネルギー・水・物質循環……………	15
(3) 過去の気候変動と植生変動……………	27
(4) 気候－植生相互作用系の理論モデリング……………	35
3. 外部評価委員会 委員名簿……………	49
4. 評価と提言……………	51
5. 国際シンポジウム（プログラム）……………	61

# 1. 北海道大学低温科学研究所・研究プロジェクト（総論）

## 「寒冷圏における大気－雪氷－植生相互作用の解明」

### （1）背景

寒冷陸域は、雪氷と水、寒冷圏固有のエネルギーの流れおよび寒冷地特性を持つ植生によって特徴づけられる。寒冷圏での様々な時間および空間スケールでの大気－陸域系の振る舞いはその影響を強く受けているが、未解明な点が多い。本研究プロジェクトでは、「雪氷」を中心に関連する分野との統合をめざし、相互作用系の研究を行う。すなわち、「大気－雪氷－植生相互作用の解明」である。今後、このような異分野間の統合がますます重要になり、新しい学問の創成につながることを期待される。特に環境科学の研究において、生物学的観点を地球物理学・化学に取り入れる試みは、その重要性が指摘されているにもかかわらず、そのような研究は今のところ非常に少ない。特に、「雪氷」が存在する寒冷圏における植物の生理・生態には未解決な部分が多いので、低温研でこの方向の研究を世界に先駆けて進める意義は大きい。

#### 1-1 植生

植物は光合成と蒸散などを通じて大気－植生－土壌系で構成される地球環境におけるエネルギー収支、水・物質循環のインターフェースとなる重要な存在である。それら植物は、さまざまな環境に適応して光合成・吸水蒸散を行い生育しており、その適応機構を解明することは、地球環境の変動を解明そして予測する上で必要不可欠である。植物の生存・枯死は、その場所での環境ストレスをどの程度受け、それにどのように反応するのかによって決まっていると考えられる。故に、これら植物の環境適応機構の生理・生化学的あるいは分子生物学的な研究が必要であり、本研究で解明すべき基礎課題である。地球環境の将来を予測するには地球物理学的研究だけでは不十分であり、植生の挙動の基礎的な過程も考慮した、物理環境変動と植生変動の相互作用の研究が不可欠である。

#### 1-2 雪氷

一方、寒冷圏における物理環境を特徴づけているのは、寒冷条件下で発生する水の固形態、つまり積雪や凍土などの雪氷の存在である。前者は、水分を地上に貯留させる効果があり春期に液体に変わることを通じて土壌に水分を供給し、植生はその水を利用しながら生長する。また、凍土は地表層の構造として水分浸透の遮断の機能があり、地表付近の水分を豊富に保つ。植生はこのように有利な物理的条件を利用しながら生長するが、寒冷圏におけるそのプロセスは未解決な点が多い。また、雪氷の存在が寒冷圏の水の循環様式を規定するが、その実態は十分解明されているとは言えない。

### 1-3 大気

また、大気は大気大循環の影響を受けつつも、その地域の陸域の影響を受けてその状態が決まる。たとえば、融解期前、高アルベドである積雪からの放射は、葉面積指数、個体数密度、空間構造など森林の様々な状態の影響を受け、大気加熱が制御される。また凍土で遮断された積雪の融解水を利用して植生が春に開葉すると一気に水分が大気へ供給され、雲システムに影響を与える。このように、大気への水・エネルギー供給は陸域と植生の各季節ごとの特徴を反映する。従って、植物の開葉、落葉のパターン、常緑樹と落葉樹の違いなど植物の生活環の制御メカニズムを解明することは大気の研究にとっても重要である。また、植物から発生する微量有機物と大気のエアロゾルとの関係、エアロゾルなどの大気状態の変化が植物の生長に与える影響などの相互作用に関しては現在のところほとんど何もわかっていない。

### 1-4 相互作用モデル

大気-陸域系においては、エネルギー・水循環は植生と水条件の特性の影響を受け、地域・地球環境を形成する。本研究プロジェクトでは、雪氷に特徴づけられる物理環境および植物個体の生長と枯死による植生の変動性それぞれをまず解明し、その結果に基づき雪氷・植生相互作用、そしてさらに大気-雪氷-植生相互作用を解明する。

地球環境にとって重要なのは、この系の将来の変動性であり、そのことも議論できる形でモデルを構築する。

#### (2) 研究目的

前 COE プロジェクトで研究を行ったオホーツク海の周辺の寒冷陸域、すなわちカムチャツカ半島-東シベリア-華北-北海道で大気-雪氷-植生の相互作用系の特性と挙動を調査・観測し、モデルの構築を通してその実態解明およびその他の地域への影響などの将来予測を行う。このモデルを「低温研 ABC モデル」(Atmosphere-Biosphere-Cryosphere interaction model developed by ILTS)と名付ける。

そのために、

- ・植物生理を考慮した植生変動のダイナミクスを解明する(生理実験、生態調査)。
- ・陸域地表層構造における水・エネルギー輸送のダイナミクスを解明する(観測)。
- ・大気-雪氷-植生相互作用系のダイナミクスを解明する(モデル構築)。
- ・以上を基に、寒冷陸域が温暖化等の全球的気候変化に対してどのように応答し大気へフィードバックしていくか、大規模な森林伐採などが気候システムに与える影響、などを明らかにする(相互作用系の実態解明と将来予測)。

#### (3) 期待される成果

ABCモデルを開発することにより、寒冷圏の大気・陸域系の長期変動特性を総合的に解

明することができる。これは、大気変動、雪氷変動、植生変動の相互作用モデルであり、物理的環境の変化と植生の変化を同時に記述しその将来を予測することができる（これまでには、このように同時に記述できるモデルは無かった）。

本プロジェクトでは、次のような問題の解明が期待される。

- (1)シベリア大森林はなぜ存在するのか？寒冷圏大森林が大気、雪氷、気候システム、地球環境に及ぼす影響は？
- (2)寒冷圏における植物に対する環境ストレスとは？その防御システムの生理・生化学・分子生物は？実際の野外の生態レベルではそれがどのような形で表れているのか？
- (3)永久凍土帯での水貯留はどの程度の時間スケールで交換が起こっているのか？
- (4)寒冷陸域のエネルギー・水循環の影響を受けた大気はどのような特徴を持つのか？それが陸域にどのようにフィードバックされるのか？大規模な森林伐採などがエネルギー・水循環、気候システムに及ぼす影響は？
- (5)北東アジア・ロシアの寒冷圏における50年、100年後の植生構造と水・エネルギーの流れは現在とどう異なっているのだろうか？
  - ・大規模な森林伐採の影響は？
  - ・雪氷と植生は環境変動に対してそれぞれどのような増幅あるいは抑制機能を持つことになるのか（安定か不安定か）？
  - ・全地球規模の環境変動に与える寒冷圏の影響は？



## 2. 各研究プロジェクト

### (1) 植生動態（生態、生理）

# シベリアカラマツ林の生態的特徴：炭素蓄積、樹木の成長及び永久凍土環境

梶本 卓也

森林総合研究所東北支所（盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25）

はじめに

シベリア地域の森林は、広大な面積を誇り、温暖化をはじめとする昨今の気候変動下において、地球規模の炭素循環に重要な役割を果たすことが予想されている。同地域の北緯 60° 以北には落葉針葉樹のカラマツが優占する森林が成立し、西側からエニセイ、レナ両河川を境に 3 種（*Larix sibirica*, *L. gmelinii*, *L. cajanderi*）が分布している（Abaimov 1995）。とりわけ後者 2 種の分布域は、永久凍土の連続分布地帯に一致し、極端な大陸性気候下に成立した、世界的にも希な大森林地帯と言える。

本報告では、寒冷地域の森林生態系で今後展開すべき研究方向を示す目的で、こうしたシベリアのカラマツ林を対象に、その生理生態に関する従来の知見を概説した。とくに、最近数年間にわたって中央、東シベリアで取り組んできた環境庁・日露共同研究プロジェクトの調査結果から、炭素の蓄積・循環プロセスや樹木の成長、林分の更新過程など、おもに森林と永久凍土に起因する根圏環境との相互作用にかかわる特徴を中心にその成果を紹介した。以下は、その概要である。

## 1) カラマツ林の現存量とアロケーション

シベリアカラマツの成熟林では、バイオマス全体に占める根の割合（粗根のみ）が 30-40%と相対的に大きい点に特徴がみられる。同じシベリア地域の常緑のアカマツ林（*Pinus sylvestris*）や日本のカラマツ人工林では、根の占める割合（細根含む）はせいぜい 20%程度で、シベリアに生育するカラマツが毎年の同化産物を地上部よりも根の成長へより多く投資していることが示唆されている（Kajimoto et al. 1999）。これらの事実は、シベリア地域の短い生育期間、低温そして窒素を中心とする土壌養分が顕著に制限された環境下で（Matsuura et al. 1997）、土壌養分の吸収を第一に優先して生存しようとする、樹木の積極的なアロケーションパターンを反映したものと考えられる。

## 2) 根系の発達過程と土壌環境

シベリアに生育するカラマツの成熟個体では、水平方向に側根がよく発達した極端な浅根性の根系が一般に観察される（Kajimoto et al. 1999）。こうした根系の発達過程は、いわゆるアースハンモックと呼ばれる凹凸微地形と、それが作り出す根圏の温度や水分環境などの局所的な差異に基本的に左右されている。その結果、とくに地温の高いマウンド部分に根は集中分布し、樹冠投影面積を大きく上回り水平分布上非対称な根系を発達させている（Kajimoto et al. 2001）。

### 3) 更新過程と林分動態

シベリアのカラマツ林は、一般に山火事に伴う攪乱によってほぼ一斉に更新する (Abaimov et al. 1997)。山火事による攪乱は、同時に樹体に固定された窒素や炭素を林床へ放出し、土壌の活動層厚を一時的に増大させる。こうした永久凍土上でみられる山火事攪乱後の林分動態は、通常的光資源をめぐる個体間の競争によって引き起こされる自己間引きプロセスとかなり様相が異なっている。すなわち、更新後数 10 年を経たある時期、林冠が閉鎖にいたらない段階で、個体の枯死が集中的に起こる現象がしばしば認められている (Osawa et al. 1999)。この独特な自己間引き現象については、更新後林床の植生が徐々に回復して活動層厚が減少し、利用可能な土壌養分も減少していくにつれて、おもに土壌養分の制限とそれをめぐる地下部 (根) での個体間の競争が、光資源をめぐる競争よりも早く発現した結果引き起こされる可能性が示唆されている。

### 4) 今後の研究方向について

シベリアカラマツ林のように永久凍土に成立する森林では、樹木の成長や林分動態にとって重要な制限要因は、上述のようにおもに根圏 (土壌) 環境に由来している。個体レベルでの同化産物のアロケーションや林分の更新過程にみられる特徴をより一般的に裏付けるためにも、林齢や地域の異なる林分を対象に、さらに樹木-土壌の相互作用に関する情報が必要である。また、温暖化等気候変動に伴う生態系の炭素蓄積、物質循環機能上の反応を予測するためには、今後施肥試験や地表の剥離試験といったいわゆる環境操作実験を野外で試みるのが有効な手法と考えられる。

### 参考文献

- Abaimov (1995) The larches of Siberian permafrost zone and their species peculiarities in progressive successions. In *Larch genetics and breeding: Research findings and ecological-silvicultural demands*. Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Sweden, pp.11-15.
- Abaimov et al. (1997) Postfire transformation of larch ecosystems in Siberian permafrost zone. In *Proceedings of the Fifth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1996*. National Institute for Environmental Studies, pp.129-137.
- Kajimoto et al. (1999) Above- and belowground biomass and net primary productivity of a *Larix gmelinii* stand near Tura, central Siberia. *Tree Physiology* 19:815-822.
- Kajimoto et al. (2001) Reconstruction of root system development of *Larix gmelinii* trees growing on permafrost soils in central Siberia. In *Proceedings of the Sixth Symposium of the International Society of Root Research*. pp. 170-171.
- Matsuura et al. (1997) Carbon and nitrogen storage of mountain forest tundra soils in

central and

eastern Siberia. In Proceedings of the Fifth Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1996. National Institute for Environmental Studies, pp 95-99.

Osawa et al. (1999) Reconstructing past stand density in even-aged *Larix gmelinii* monocultures:

comparison of three approaches. In Proceedings of the Seventh Symposium on the Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russia in 1998. Hokkaido University, pp 21-24.

# 冬季の光合成：植物は強光ストレスからどう身を守るか？

皆川純（北大・低温研）

## 序論

植物は冬季にさまざまなストレスを受ける。そのうちの一つ“強光ストレス”が光合成反応に及ぼす影響を解明することは、寒冷域の植生に対する理解を深める上で重要であると考えられる。冬季は夏季と比べ日射時間は短くなるものの、晴天下の単位時間あたりの日射量となると、夏季冬季を問わずほぼ一定（±4%）であることが知られている(図1)。一方、冬季は気温が下がるが、特に寒冷域では平均気温が氷点下となり(図1)、光合成反応での酵素反応の集大成である暗反応の進行は抑えられる。ここに、エネルギーの入力量が出力量と比べ過多となるエネルギーバランスの崩れた状態、いわゆる“励起圧(excitation pressure)がかかった”状態が生じる。これはいわば植物の“エネルギー危機”とも言える危険な状態であり、植物はさまざまな方法でこれを回避している。寒冷樹林帯は主に常緑針葉樹によって構成されているが、冬季もクロロフィルを豊富に含んだ葉を落とさずいかに“危機”を回避しているのかは、ほとんどわかっていない。光合成反応が冬季に受けるストレスの本質が“強光ストレス”であるとすれば、実験室レベルでの強光条件のモデル化は有用である。本研究では寒冷域の植生に対する理解を深めるため、強光耐性ラン藻というモデル植物を用い、実験室内で“強光ストレス”がいかに回避されるかの検討を行った。

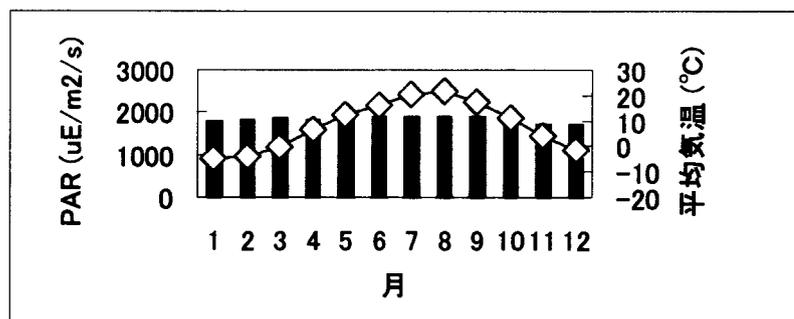


図1. 札幌における月別最大日射量と平均気温（理科年表 2001 年度版を改変）。

## 結果と考察

ラン藻 *Synechocystis* sp. PCC6803 の野生株は通常光下では青緑色を呈するコロニーを形成するが、強光条件に育てると集光装置が縮退するために黄白色のコロニーを形成する。このラン藻は遺伝子転換が容易であることを利用し、光化学系 II の主要タンパク質の一つ D1 タンパク質にランダム変異を生じさせることによって、強光条件でも通常の青

緑色のコロニーを形成し集光装置が保持されている変異株が多数得られた(1)。この変異株が強光下でもなぜ集光色素を保持できるのか明らかにするため、代表的な2つの変異株について、熱ルミネセンス法を用いることにより光化学系 II 内の電子伝達成分について調べた(2)。光化学系 II のルーメン側に変異を持つ I6 株では Q バンド (図 2) の高温側シフトが見られたが B バンド(図 3)は不変であった。一方、光化学系 II のストロマ側に変異を持つ NDFS 株では Q バンドが不変であったが B バンドに低温側シフトが見られた。この結果から、I6 株におけるルーメン側の変異が第一電子受容体キノン  $Q_A$  の酸化還元電位を上げる影響を持たらすこと、NDFS 株におけるストロマ側の変異が第二電子受容体キノン  $Q_B$  の酸化還元電位を下げる効果を持たらすことがわかった (図 4)。

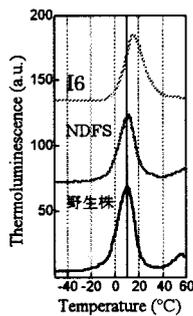


図 2. 熱ルミネセンス Q バンド

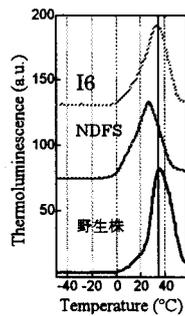


図 3. 熱ルミネセンス B バンド

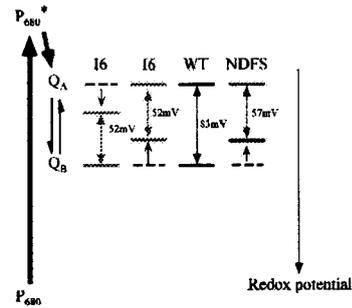


図 4. 強光耐性変異株における  $Q_A$   $Q_B$  間の酸化還元電位差

二つの変異が異なる局所的な影響を持つものの、集光装置の保持という同じ表現形を呈する以上、これらの局所的な影響は同一の生理学的な効果を持つものと予想される。その生理学的効果の一つとして次のモデルを提唱した。I6 株における  $Q_A$  の酸化還元電位上昇と NDFS 株における  $Q_B$  の酸化還元電位下降は、共に  $Q_A$   $Q_B$  間の酸化還元電位差を減少させる(図 4)。これは  $Q_A \Rightarrow Q_B$  電子移動の平衡を  $Q_A$  側に傾け、この電子移動は熱力学的に不利なものとなる。強光耐性変異体に見られるこの電子移動能力の低下こそが、強光下においても励起圧の過度の高まりを抑制し、集光装置の保持をもたらす(図 5)。

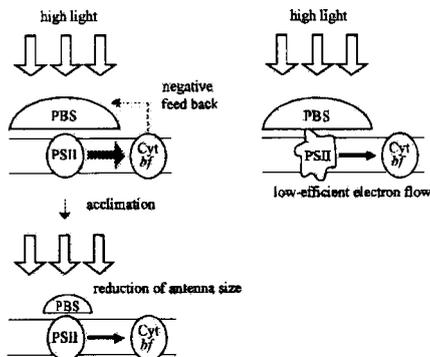


図 5. 強光耐性変異株における集光装置保持機構のモデル。左パネルは野生株の場合。強光は励起圧の上昇をもたらす(太矢印)、集光装置(PBS)の縮退がおきる。右パネルは変異株の場合。光化学系 II の電子伝達能力が低下しているため、励起圧の上昇は起きないため、集光装置は保持される。

まとめ

本研究により、野生株に見られる集光装置の縮退、変異株に見られる電子伝達能

力の低下、いずれの機構を用いてもラン藻は強光条件に適応できることがわかった。寒冷圏における常緑樹の冬季の強光ストレス回避機構の解析は、この2つの機構を基礎として進めていくのが適当である。

#### 謝辞

本研究は、佐藤公行博士（岡山大）、鳴坂義弘博士（岡山大）、井上頼直博士（理研）の協力のもとに行われた。ここに記して謝する。

#### 文献

1. Narusaka, Y., Narusaka, M., Satoh, K., Kobayashi, H. (1999) *J. Biol. Chem.* 274, 23270-23275.
2. Minagawa, J., Narusaka, Y., Inoue, Y., and Satoh, K. (1999) *Biochemistry* 38, 770-775.

## エネルギー，水，植物 -北海道を中心とする植生班の研究計画の概要

Energy, water and plants - a perspective of intensive studies in Hokkaido by the  
vegetation team

隅田明洋（北大 低温研）

### 研究目的

植物が寒冷域の環境に適応しているということは、寒冷域に特有の物理環境に対して適応的であるような生理的応答が起こっていることを意味する。この生理的応答は、生活型（常緑／落葉）、成長、植物内器官へのバイオマス配分、植物体の空間的構造、生物季節、競争様式、開花・結実など、植物のもつ属性や現象に密接に関わっている。植生、個体群・群落構造などの生態学的パターンもまたこれらの属性や現象に密接な関係があるので、寒冷域の生態学的パターンの研究には植物生理や物理環境との関連づけが必要がある。また同時に、細胞スケールー景観スケールに至る異なる空間スケールを関連づけることも必要である。植生班が目指すことは、生態学的・生理学的・物理環境的要因およびこれらの中の相互作用を考慮することにより、寒冷域に見られる植生パターンがどのように形成されるのかについて、その機能的メカニズムを明らかにすることである。

### 研究計画の概要

植生班は、植物生態学の研究者および植物生理学の研究者によって構成される。植生班は次にあげる大きな3つの研究課題を計画している。

#### 1) 寒冷域の物理環境に対する植物の生理的応答、およびその結果現れる生態学的パターンに関する研究

寒冷域に特有の物理環境要因は、植物の“光ストレス”への生理的な応答と密接に関わっている。このことから、この研究課題では光ストレスに関わる植物生理学的研究を行う（植物の光ストレスについては、皆川博士（低温研）により本ワークショップにおいて話題提供された）。さらにまた、植物生態学の研究者との協力を通して、現実に観察される寒冷域の生態学的現象やパターンが、光ストレスに対する植物の生理的応答にどのように関わっているのか、どの程度かかわっているのか、について明らかにしていく。

#### 2) 樹木個体スケールー森林スケールの植生構造の測定

いかなる空間的スケールの植物生態系を取り扱う研究においても、群落の三次元的

構造は基礎情報として非常に重要である。たとえば、森林における葉面積の空間分布は水やエネルギー収支の研究に重要である。また、最近になって植物群落の空間構造が個体群・群落動態に影響を及ぼす重要な要因であることが指摘されるようになってきたことから、生態学的見地からも空間構造把握はますます重要となってきた。

寒冷域や高緯度域においては、樹冠や林冠の発達のパターンは温暖な地域や低緯度域とはかなり異なる。すでに開発された方法やそれを発展させることにより、枝スケールから景観スケールまでのいくつかの異なる空間スケールで寒冷域の森林構造を調査する。この調査は寒冷域の森林の生態学的側面、特に、個体群・群落動態（個体間・種間競争など）の解明を第一目的としたものであるが、プロジェクトの他の研究グループとの共同で調査・解析を行い、結果も共有する。

### 3) 気候学的研究や植生モデルに対する生理・生態学的データの反映

この3つ目の研究課題の典型例は、本ワークショップで横沢博士（農環研）によって紹介された植生-微気象相互作用モデル（MINoSGI）である。このモデルは植物生態学の研究者と気象・物理環境モデルの研究者との共同で開発された。このモデルは、単に生態系の炭素収支などの量的な推定を行うことができるばかりでなく、植生と微気候との間の相互作用の結果として植物個体群構造（個体サイズの頻度分布など）を出力することができるところが最も特徴的な点である。個体群構造やその時間変化のパターンは、植物個体群・植物群落の動態を説明・予測する上で重要な指標である。したがって、このモデルは生態系の質的な側面-植生および植生の変化-をも予測するモデルへと発展する可能性を持っている。本研究課題の目的は、上記のような生態学的なプロセスを気候モデルに反映させることにある。本研究では、このモデルをいくつかの寒冷域に特有な森林植生タイプに適用する。

以上の研究課題を達成するため、すでに北海道・母子里（北大森林圏ステーション雨龍研究林）のダケカンバ林において、光・水・温度等の環境測定や光合成・蒸散・成長測定や植物の生理機能測定等を始めている。これらのデータはプロジェクトの他の研究グループにも活用される。



## (2) 陸面過程、エネルギー・水・物質循環

# THE PARTITIONING OF SURFACE WATER INTO RUNOFF AND EVAPOTRANSPIRATION IN THE ARCTIC

Douglas L. Kane<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Water and Environmental Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK, USA, 99775, [ffdik@uaf.edu](mailto:ffdik@uaf.edu)

## INTRODUCTION

The bearing that surface water has on our climate around the world is clearly evident. In general, terrestrial regions of the Arctic would be classified as having high surface wetness during the summer months. This is mainly due to the fact that permafrost inhibits vertical drainage during the short summer period (three to four months) and a snowpack that has accumulated over a seven to nine month period ablates in a relatively short period of time. The potential hydrologic pathways of this surface water are evapotranspiration and runoff. An ongoing study of arctic hydrology at four watersheds in Alaska is described in Kane et al<sup>1</sup>. Field measurements are being made in two headwater catchments (Imnavait Creek, 2.2 km<sup>2</sup>; and Upper Kuparuk River, 146 km<sup>2</sup>), one coastal, low-gradient watershed (Putuligayuk River, 471 km<sup>2</sup>) and one all-inclusive drainage (Kuparuk River, 8,140 km<sup>2</sup>).

## RESULTS AND DISCUSSION

In Alaska, over a five-year period, evapotranspiration constituted between 35 to 50 % of water exported out of three arctic watersheds. Year to year variation is much greater. The remainder of the water exited these watersheds as surface runoff. These watersheds are dominated by snowmelt floods; or stated another way, the snowmelt event is generally the most dynamic hydrologic event of the year. Not only does a majority of the runoff occur then, but also the surface energy balance goes through a major transition as the albedo changes by a factor of four or more.

Eighty three percent of the area of these three watersheds is classified as wetlands. This is primarily because of the limited subsurface storage due to the permafrost and the approximately 7 to 15 cm of water that is released during a relatively short snowmelt period (seven to ten days). During the summer months of June, July and August, latent heat fluxes dominant in wet sites and sensible heat fluxes dominant in dry sites. Because of the latent heat required to melt ice in the active layer and the ongoing surface evapotranspiration, active layer depth (that layer that freezes and thaws each year) is minimized and soil temperatures are kept cool.

Presently there are large annual fluctuations of surface wetness spatially over these watersheds with summer precipitation increasing wetness and evapotranspiration decreasing wetness. Following snowmelt each spring, the system is near saturation. Obviously warm summers produce more evapotranspiration than cooler summers. In general, there is a drying-out of the watersheds over the summer even though precipitation generally increases as summer progresses. For low-gradient areas where there is substantial surface storage in lakes, ponds and wetlands, a surface storage deficit develops. This deficit is generally not made up by summer rainfall and therefore the watershed enters the winter season with potential surface storage. This storage needs to be replenished in the spring before runoff can be generated. For the Putuligayuk River basin, this storage deficit averaged 31 mm over the entire watershed for three years. This also represented about one-third of the snowpack water equivalent over the same three-year period.

Another characteristic of these low-gradient watersheds is that the drainage network becomes fragmented during the drying process. Therefore any runoff response to precipitation is delayed or attenuated, the magnitude of reduction increases as the system becomes drier.

A warmer climate could enhance evapotranspiration, and reduce both runoff and soil moisture in the active layer. However this could be offset by more precipitation (due to less seasonal ice cover on adjacent seas). Climate change could result in deeper active layer with enhanced surface and subsurface drainage characteristics, changes in vegetation (better drained and warmer soils) and increased biological activity.

We need to develop better physically based hydrologic models to both understand the interactions between the various components and then study how the system may react to a changing climate. For a changing environment we need models that do not have to be calibrated. This is critical if one is trying to use these models for predicting future hydrologic responses to changing conditions since you will not have any insight on how to calibrate the model. One characteristic of these models is that they should be spatially distributed to address varying land uses and the associated thermal and hydrologic fluxes. Another future attribute of these models is that they should be capable of being coupled with atmospheric, biological and chemical models. To support spatially distributed models we need good quality spatially distributed data.

Zhang et al<sup>2</sup> developed a physically based, spatially distributed that works quite well in the hillier terrain. However, for the low-gradient coastal plain along the Arctic Ocean, the model failed because we lack good quality digital elevation data that can define the potential surface storage.

## REFERENCES

1. Kane, D.L., Hinzman, L.D., McNamara, J.P., Zhang, Z. & Benson, C.S. An Overview of a Nested Watershed Study in Arctic Alaska. *Nordic Hydrology*, 31(4/5):245-266, 2000.
2. Zhang, Z., Kane, D.L. & Hinzman, L.D. Development and Application of a Spatially Distributed Arctic Hydrologic and Thermal process Model (ARHYTHM). *Hydrological Processes*, 14(6):1017-1044, 2000.

**Acknowledgements.** Funding for this work was made possible through the National Science Foundation, Office of Polar programs (OPP-9814984).

## Understanding water-energy-CO<sub>2</sub> cycles in forests under different climate conditions

OHTA, Takeshi

Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Japan

Various types of forest form under different climate conditions. Consequently, the water-energy-CO<sub>2</sub> cycle system varies over a wide range. This presentation is an overview of the characteristics of water-energy cycles in tropical and boreal forests, based on several field campaigns. The effects of the deforestation of tropical and boreal forests estimated using atmospheric general circulation model (AGCM) simulations are reviewed. Finally, the spatial distributions of the model parameters for the Jarvis type conductance model and the canopy storage capacity related to interception loss are evaluated.

In tropical forests, especially in tropical rain forests such as in the Amazon region, a large part of the effective radiation is used for the latent heat flux. The ratio of the latent heat flux to the effective radiation is 0.6 even for the dry season in tropical monsoon forests, where there are dry and rainy seasons. By contrast, in boreal forests the sensible heat flux generally exceeds the latent heat flux, even in the growing season, when the value of the Bowen ratio exceeds 1.0. There is clear seasonal variation in the Bowen ratio above deciduous forests due to plant phenology; the value reaches 5 to 10 in the early spring above deciduous forests.

There are clear relationships between climate conditions and the parameters in a conductance model. These relationships show that the lower the annual mean temperature is, the lower the optimum temperature for transpiration becomes, and that transpiration in forests in drier regions is not strongly affected by the atmospheric saturation deficit. For interception loss, the storage capacity of the canopy can be parameterized using the PAI (plant area index) regardless of tree species and climate conditions.

## Strategic importance of heat/water/CO<sub>2</sub> fluxes of cold Siberian Region

FUKUSHIMA, Yoshihiro

Research Institute for Humanity and Nature, Japan

It is well-recognized that terrestrial biome has an important role on maintaining climate system forming the Earth environment. But we face on global warming by the reason of the emission of CO<sub>2</sub> gas due to the consumption of fossil fuel. Global warming is now coming to Siberian region underlain by permafrost. What phenomena are now occurring on /under actual land surface of Siberian region is expected to be clarified.

GEWEX/GAME/Siberia project has been carried out to recognize interaction between atmosphere and land surface by a field campaign involving fluxes observation and data collection at Yakutsk site, Tiksi site and Lena river basin during five years from 1996 to 2001. We have already got many information ( for example, Ma et.al. 2000, Ohta et.al. 2001). Though GAME/Siberia project is to be successfully finalized in 2001fiscal year, it was found in IGBP/BAHC and ISLSCP joint SSC meeting held in Amsterdam, July 14-15, 2001 that a lots of new international research projects are planned as post-IGBP. It will be talked in the workshop in detail, but I hope that key issue in common with new international programmes or projects is Carbon Cycle. Particularly, a dry and cold Siberian region is paid attention on finding out the mechanism of maintainability and attaining quantitative evaluation for carbon cycle in a representative hot-spot, from world science community. Of course, thus work needs a combined resarch task between physics and biology. I believe that Japanese group is able to make a new research plan inheriting attained results from GAME/Siberia.

# 積雪地帯の水循環の素過程の研究

兒玉裕二（北海道大学・低温科学研究所）

## 1. はじめに

1970年に低温科学研究所に融雪科学部門が設置される以前から、幌加内町母子里の北海道大学雨龍演習林内では積雪観測や研究が盛んに行われ、たとえば吉田順五らによる1950年代の一連の含水率の論文は、融雪水の積雪内浸透の研究のみならず、学生の訓練の場としても重要な役割を果たしてきたことがわかる。融雪科学部門の設置以降、1978年には融雪観測室が設置され、1985年に観測堰、1992年に水文気象観測システムが設置された。融雪熱収支や融雪流出に関する研究が連続としてつづけられ、ここでの研究成果として多くの修士号や博士号が授与された。以下に母子里の実験流域での最近の研究成果2件を紹介し、その後に関後の研究課題について述べる。

## 2. 温度逆転層の解消に関する研究

地表面状態の異なる無雪期、厳冬期、融雪期の盆地内温度逆転層解消過程を観測し、大気熱収支を行い、温度逆転層解消時の大気と地表面の熱交換に関する考察を行った。係留ゾンデによる大気境界層観測により、温度逆転層解消の季節特性が明らかになった。無雪期の温度逆転層は地表面から発達する混合層が時間と共に高度を増すことで解消し、盆低部からの顕熱フラックスでほぼ説明できた。厳冬期には逆転層上端面が徐々に低下することで逆転層が解消し、系外部からの熱移流（上端の顕熱フラックスを含めて）によることがわかった。融雪期には混合層の発達と逆転層高度の低下の両方によって逆転層が解消され、これも系外部からの熱移流によることが推測された。

## 3. 水循環の中の貯留としての積雪の役割の研究

多雪地の山地流域である母子里試験流域で得られた長期的な水文・気象観測結果から1988年から1998年の11年間の水収支各成分とその変動傾向を明らかにした。11年間の平均の降水量は1669mm、流出高1375mm、蒸発散量370mm、貯留量変化75mmとなった。降水量の変動が最も大きく約650mm、流出高の変動は次に大きく約400mm。蒸発散量は年毎の変動が小さくほとんど一定値を示した。流域貯留量は降水が少なく蒸発散が大きい7月に最小となり、降水が増える9月頃から顕著に大きくなり、降雪に伴い増加し、1000mm程になることもあった。最大積雪貯留量は400mmから800mmのあいだで変動し、冬季降水量のみならず、積雪初期や末期の気温の影響を受けていた。

気温を変数とした水収支モデルから気温の上昇によって、最大積雪水量の減少、融雪開始の早まりが示された。しかしながら、最大積雪水量の減少に伴う越年的な影響は見られなかった。

#### 4. 今後の課題

母子里実験流域は寒冷圏の現象が気候システムの中でどのような役割を果たすのかを調査研究し、その素過程を明らかにしていくために非常に環境のよいところである。それらの研究調査のために今後以下のことが必要と思われる。1)新しい方法や測器を取り入れつつ水文・気象モニタリングの継続。特に、同位体サンプリングやタワー・航空機等の新プラットフォームの導入。2)大気・植生・積雪・陸面・地下を通じた相互作用の研究。例えば遮断蒸発(降水および降雪)とか渇水期における蒸発散による流量の日変化。3)植物生理、植生ダイナミクス、微量元素(大気化学)の研究。4)“母子里モデル”の構築—大気地域モデル、水文モデル、植物生理・ダイナミクスモデルのドッキング。この他に学生の増加、北方圏生物フィールド科学センターとの協力、所外研究者の参加、できれば組織の改変等も必要であろう。

## 気候形成に関わる雪氷・植生相互作用

大畑哲夫（北海道大学・低温科学研究所）

### 1. はじめに

積雪や凍土など雪氷は植生と相互作用を起こしながら陸面過程を形成している。それが現象の種類、時期、考慮する変動の時間スケールによって、多くの場合、総合的な作用因子として大気と相互作用を起こす。

ここでは、雪氷と植生、主として森林の相互作用の研究課題について検討する。

### 2. 積雪のある森林帯でのアルベドとその影響

森林（高い構造物）がなければ、表面アルベドは雪のアルベドで高く、森林があればその黒さにより減少する。ヤクーツクのスペーススカヤ観測点（Ohta et al., 2001）で観測した結果によると落葉性のからまつ林のアルベドは常緑であるアカマツより低く、4月に0.02-0.05程度の差が見られた。この差は大きくはないが、この違いが広域に広がっていれば気候場を相当変えることが推測される。

北方森林帯のアルベドが有森林の場合と無森林の場合の状況下の気候を再現したGCMの研究（Bonan, 1992）を見るとその意味がわかる。二つの条件下で行った数値実験によると（結果は無森林—有森林の数値）、北緯60度のアルベドは0.4増加し、気温は-8ないし-12度の差となる。つまり気温上昇する。森林帯のアルベドの違いは大きな気候変化をもたらす。

このような結果を参考にすると、アカマツとからまつの違いでも相当な気候変化（1—2度）をもたらすことが推測される。シベリア地域がなぜこのような森林特性を持っているかを知ることは、現在の気候の維持様式を理解することにとって重要である。森林密度、樹高など物理構造が関係する植生因子である。

### 3. 積雪分布は雪氷・森林相互作用を通して決まる。

水文学的・気候学的に重要な積雪量の分布は、森林の存在する地域では森林構造の影響を受ける。融解前の最大積雪深の分布を決めるプロセスは、降雪、地吹雪による積雪の再配分、樹幹堆積・蒸発、雪面蒸発が関与する。今まで行われた研究によると、地域、それから森林の種類により積雪深分布（森林内、開地）は大きく異なる。北極域（Churchill）の結果（例1：Rouse, 1984）によると、森林内>>開地である。東シベリアのヤクーツクでは（例2：Nomura et al., 2001）によると、森林内=開地であり、昔の結果（例3：Pavlov, 1984）では森林内>開地である。同じ地域で差が見られるが、対象とした森林によってこのような結果が出るのかもしれない。また中緯度帯（例4 Golding, 1982）の研究では、逆に森林内<開地となっており、別の中緯度帯（例5：日本道路環境研究協会, 1977）では

森林・開地境界部で最大積雪深となり、森林内・開地での差異は決めがたかった。例1は強い地域であり、その効果が極端に出ていた。例2と例3は風の弱い同じ地域であり、高緯度であることで森林内と開地で同じであることが考えられるが、差をもたらしている、しかも森林で多い傾向をもたらしている原因はわからない。唯一考えられるのは、樹幹の凝結（霜）が多く、それが影響していることである。例4は、中緯度であるため樹幹蒸発が卓越していることにより起こっていると推測している。例5は特殊な例であり、風向が一定していて、比較的密な森林の条件下で起こると考えられる。

このようにいろいろな分布例が見られ、それぞれで卓越する過程が異なると考えられる。ここで注意しなければいけないのが、地吹雪・再堆積が関係する場合には空間スケールが、凹凸（森林・開地の高低差）のあるところでは風の発達に距離が必要なため、一つの重要な考慮因子になる。このような、森林・開地分布の違い、気候帯（特に風、降雪量）を越えた積雪量分布についての一般的理解が重要と考えられる。多くのケースが再現できるモデル（総合的理解）というのが目標となろう。

ここまでは、森林分布が積雪分布に影響を与える一つの過程であるが、たとえば例1で多積雪量→高土壌水分→樹木が使える水分が多い→樹木の生育可能、という流れが成り立つならば、雪氷と植生の相互作用を通じて特有の地表面が形成されていると言える。このあたりの研究も望まれるところである。

また冬期終了時積雪量決定の過程として、樹冠積雪・昇華（A）、雪面昇華（B）、積雪昇華、冬期凝結も関与する。地域によって大きく異なるが、(A)は冬期総降雪量の10-30%（種々の文献）、Bについてはヤクーツクでの研究例をとると森林では開地より少なく、また全体として昇華量は冬期総降雪量の5-16%（Pavlov, 1984）となっている。これらの数値は、当然森林の種類、気候帯、観測年の気象状態に強く依存することが考えられ、一般的な理解についての検討が望まれる。

#### 4. 凍土と森林

凍土があるから森林があるという話がある。これに関連し、次の仮説をたてた。すなわち「森林のあるところは周辺の草地に比べて、林床が受ける日射が少ないため→地温が低く→融解層が薄い、ことが考えられ、それが森林育成環境を有利にする」可能性を探った。もしこの関係が観測にて支持されれば、凍土・森林にはポジティブな方向の相互作用が存在し、それが森林維持に役立っていると言えることになる。ヤクーツクでの森林・開地（草地）における地温観測によると（Ishii et al., 2001）森林内と開地では地下50cmの年間の最大値は森林・開地で同程度、最低値は森林内で大分低かった。しかしながら、6月末の融解深は平均で10cm程度、活動層厚もそれほど差がなかった。また北米北極での観測（Rouse, 1984）でも森林と開地では融解深にたいした差が見られなかった。このケースでは両地点で大きな積雪深差（開地が極端に少ない）があった影響が関係していると思われる。

観測結果、文献に記載された結果は、上記の仮説を強くは支持しない結果に終わった。融解深決定には多くの因子（土壌構造、土壌水分）が関係するので、さらなる詳細な検討が必要であると考えられる。

## 5. まとめと他の研究計画

ここでは、雪氷と植生の相互作用で気候形成に強く関わると考えられる過程についての検討を行った。全体として個別観測研究はなされているが、定量的理解やそれらのモデル化、つまり一般的理解という点までは至っていない、ことがわかる。これらが現段階での課題と見なすことができる。

今回の解析の過程で、生じた疑問がある。上記のすべての過程には森林構造が強く影響を及ぼす。たとえば樹木高、樹木密度、それらが決まっているルールは何なのかということである。当然植物の生理学的特性が反映していると考えられるが、陸域過程を考える寒冷圏気候の研究者が生物学者に聞きたいところである。またシベリアなどで近年、森林が増えているか、どの程度なのか？、なども聞きたいところである。

本報告では、筆者に関係した研究課題の検討を行ったが、本研究所のメンバーからはそれ以外の課題も出されている。それらは以下の通りである。

- (1) 森林の3次元構造の把握、森林の成長に伴う空間構造の変化の解析
- (2) アルベド、放射と森林の3次元空間構造
- (3) 水循環と森林の3次元構造
- (4) 雪氷面の形成・焼失と植生、エネルギー・水循環
- (5) 樹木および下層植生の生理学的研究と森林微気象との関係
- (6) 寒冷土壌の物理・化学
- (7) アムール川など大流域河川の水循環とオホーツク海海氷形成への影響

現段階で提出されている課題は必ずしも相互関係が十分検討されておらず、今後の調整ないし統合化、また研究課題のギャップについての「穴埋め」が必要となろう。

## 文献

Bonan et al. (1992): *Nature*, 359.

Golding, D. L. (1982): Snow accumulation patterns in openings and adjacent forest. *Proceedings of Can. Hydrol. Symp.* 82.

Ishii Y. et al. (2001): Thermal and moisture regimes in the active layer around an Alas. *Activity Report of GAME-Siberia 2000 (GAME Publication No. 26)*, Japan National Committee for GAME, 107-110.

Ohta, T., et al. (2001): Seasonal variation in the energy and water exchanges above and below a larch forest in eastern Siberia. *Hydrological Processes*.

日本建設機械化協会(1977):「新防雪工学ハンドブック」、森北出版、東京。

- Nomura M. et al.(2001): Snowmelt observation at alps and in nearby larch forest in Eastern Siberia. *Activity Report of GAME-Siberia 2000 (GAME Publication No. 26)*, Japan National Committee for GAME, 105-106.
- Pavlov, A. V. (1984): 地球表面における熱環境。ナウカ。256pp.
- Rouse, W. R. (1984): Microclimate at Arctic tree line. II Soil microclimate of tundra and forest. *Water Resource Research*, 20(1), 67-73.



### (3) 過去の気候変動と植生変動

## **Dendroclimatic study in Siberia: new results and perspectives**

VAGANOV, Eugene

V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Russia

There are several important aspects in studying Siberian climate and environmental change using tree-rings: a) Eurasia is the biggest continent with the widest range of climatic zones; b) the lack of long-term climatic information especially at high latitudes where most warming is expected; c) most of the unmanaged forests are located upper 60° N in Asia which are natural archives of climate change over hundreds of years or millennia; d) high abundance of well preserved dead and subfossil wood in permafrost regions as a material to design super-long tree-ring chronologies (practically for whole Holocene); e) tree-ring chronologies are characterized by high resolution in time (year, season, month) and contain from inter annual to centennial variability of climate.

Two main research fields are presented: 1) traditional dendroclimatology based on chronology network, analysis of response function and climatic reconstruction using tree-ring width, wood density and tracheid anatomy data; 2) approaches to reveal response of tree radial growth at rapid climatic changes, which include the experimental study of tree growth and tree-ring structure in “geographical plantations” (provenances) and simulation (process-based) modeling of seasonal tree growth in changing climate. Analysis of provenances of Scots pine located in Central Siberia indicates their climate response is mostly affected by local conditions and only 15-20% of the total growth and tree-ring structure variability is related to the provenances origin. Simulation modeling applied to several conifer species and to a wide range of their spatial distribution (from forest-tundra zone to monsoon region) shows unique possibilities to reveal the main limiting growth factors as well as to forecast tree growth response to expected climate change.

## スバルバル諸島およびグリーンランド雪氷コアに記録された 北大西洋振動 (NAO) と北極振動 (AO)

藤井理行<sup>a</sup>, 神山孝吉<sup>a</sup>, 本山秀明<sup>a</sup>, 東久美子<sup>a</sup>, 五十嵐誠<sup>a</sup>,  
庄子仁<sup>b</sup>, 亀田貴雄<sup>b</sup>, 成田英器<sup>c</sup>, 渡邊興亜<sup>a</sup>

- a) 国立極地研究所、東京都板橋区加賀 1-9-10
- b) 北見工業大学、北見市公園町 160
- c) 北海道大学低温科学研究所、札幌市北区北 19 西 8

### はじめに

北大西洋のアゾレス高気圧とアイスランド低気圧間の気圧振動現象である北大西洋振動 (NAO) や極渦の気圧振動である北極振動 (AO) は、北極での 10 年程度の気候変動モードとして近年注目されている。氷河や氷床の掘削コアは、過去の気候変化を記録している優れた媒体で、本研究ではこうした氷コアから過去の NAO や AO の復元を目的とした。用いたコアは、1989 年にグリーンランド氷床南部の Site-J で掘削した氷コアと、1999 年にスバルバル諸島の北東島氷帽 Austfonna 頂上で掘削した氷コアである。

### コア年代

Site-J コアでは、酸素同位体組成の季節変化サイクルを数え年代を推定し、核実験によるトリチウムシグナルやアイスランドのラキ火山などの顕著な火山性硫酸イオンシグナルで年代調整を行なって、±1 年の精度で年代を決定した。一方、夏季の融雪とその浸透が見られる Austfonna コアでは、酸素同位体組成など季節変化シグナルは明瞭でないため、氷電気伝導度が示す顕著な火山性シグナルを示準層とし、水当量深度で示準層間を内挿して決めた。推定精度は±2 年である。

### 気温変動と NAO

気温の指標となる酸素同位体組成プロファイルに対し、10 年と 40 年のフィルターをかけた。過去 140 年間について、この中期および長期変動の差を気温変化の aomaly とした。図 1 に示すように、スバルバル Austfonna とグリーンランド Site-J コアに記録されていた気温変化の aomaly は、明瞭なシーズン振動を示した。すなわち、スバルバルが温暖 (寒冷) な時期はグリーンランドが寒冷 (温暖) である。この気温変化の aomaly と NAO インデックスと比較すると、気温変化の aomaly は冬季の NAO インデックスに良く調和していることが分かる。すなわち、アイスランド低気圧が強化される高 NAO 期には、スバルバルが温暖でグリーンランドが寒冷となる。これは、アイスランド低気圧の発達に伴い、スバルバルには暖気が南方から侵入し温暖化するが、グリーンランド南部では北方からの寒気の侵入により寒冷化することによる。

### 気温変動と AO

スバルバル Austfonna とグリーンランド Site-J の気温変化の aomaly を AO と比較した (図 2)。この結果、AO インデックスが正の時、すなわち北極中心部の気圧が平年より低い時、Austfonna では温暖化し Site-J では寒冷化したことが読み取れる。すなわち、極渦が発達した時にはアイスランド低気圧が発達し、スバルバルには暖気が南方から侵入し温暖化し、グリーンランド南部では北方からの寒気の侵入により寒冷化することを示唆する。

おわりに

気象観測データがある 19 世紀中ごろからの NAO と AO は、北極圏ではアイスランド低気圧の消長に密接に関連し、スバルバルとグリーンランド南部では気温のシーソー現象が起きたことが明らかとなった。このことは、雪氷コアの酸素同位体組成から気温変化の anomaly により、観測時代以前の NAO や AO 変動を復元できる可能性を示すものである。

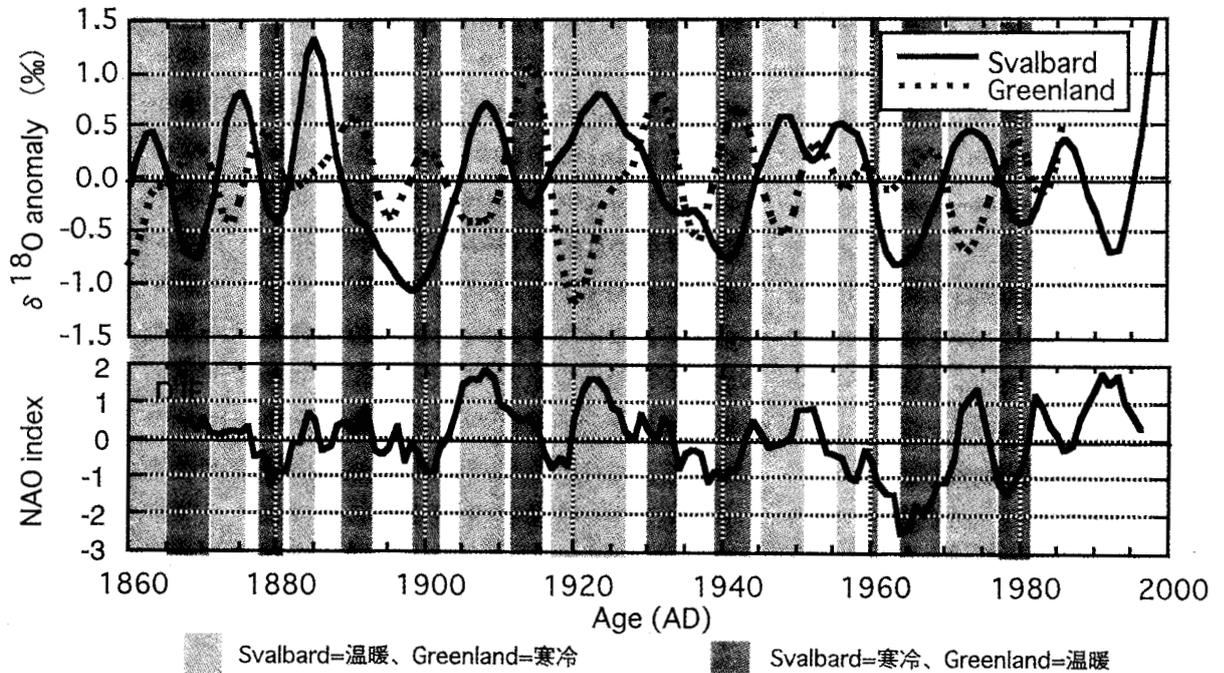


図1 スバルバルとグリーンランド雪氷コアの酸素同位体組成の anomaly (上) と冬季における NAO インデックス (下) の比較。

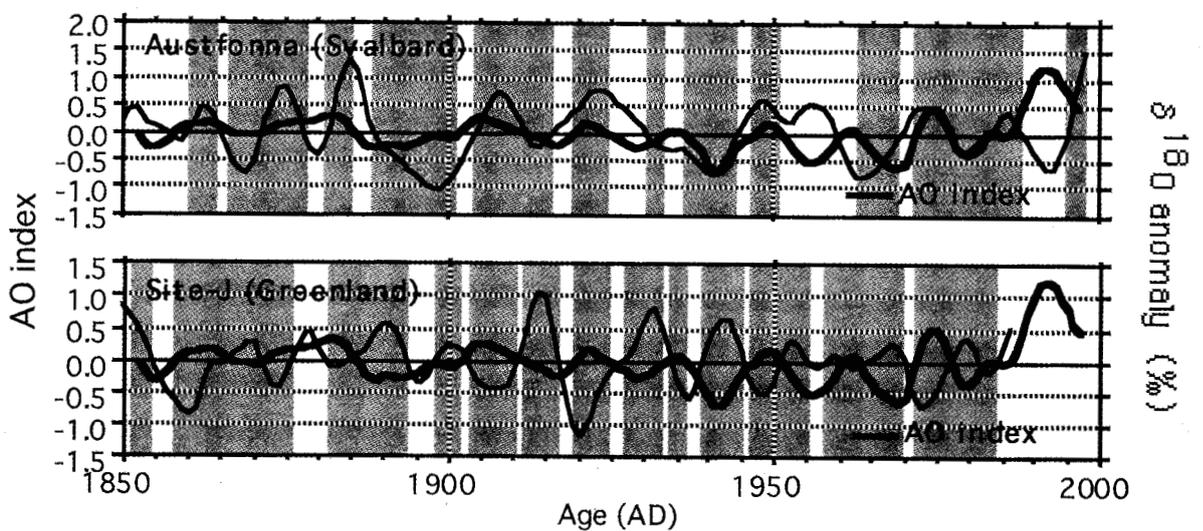


図2 スバルバル (上) とグリーンランド (下) の雪氷コアの酸素同位体組成の anomaly (細線) と AO インデックス (太線) の比較。

## **Reconstruction of past forest disturbance related to Alas formation in East Siberian permafrost regions**

FUKUDA, Masami

ILTS

One of the most unique features of landscape in east Siberia is the formation of Thermokarst depression, which is locally called as Alas. Permafrost covered with Taiga is thermally unstable under present climatic condition and tends to thaw in large scale triggered by disturbance of Taiga.

Once permafrost contains a large volume of ground ice, thawing permafrost may result in the loss of ice body in ground and the ground surface tends to depress. Temporal water storage in the depression accelerates thawing permafrost at the bottom of lake in certain depth. Under prevailing dry environment, water in the depression may evaporate out. Then the lake basin is exposed to the coldness. Between refrozen upper thawed layer and lower permafrost, thawed layer may exist for some period of time. This intermediate thawed layer is termed as Talik. The dynamic process of thawing and refreezing of permafrost may be reconstructed based on various data from core samples of lake sediments.

Radio carbon dating results using organic materials in the sediment suggest the initiation of Alas formation is estimated at 8000-7000 yBP in East Siberia. As to reconstruct paleo-temperature condition, pollen analysis is planned to carry out. In addition to field data, numerical analysis of thermal regime is also carried out.

Over all reconstruction of paleo-environment is developed indicating the forest fire is the major cause of unbalancing of surface boundary condition of Taiga. Related to the forecasting of future global warming trend, process of Alas formation yields profound information.

# 環オホーツク地域における雪氷コアを用いた十年～数十年周期の気候変動の復元

白岩孝行\*・山田知充(北海道大学低温科学研究所)

\*) Corresponding author

## はじめに

北太平洋では PDO(Pacific Decadal Oscillations)と呼ばれる十年～数十年周期の気候変動が生じることが知られている。この気候変動は、北太平洋兩岸のアラスカやカムチャツカの陸域雪氷圏に大きな影響を及ぼすことが予想されるが、その周期が長いので、既存の気象データで現象を解析することが難しい。この点、氷コアには長期間の気候変動が様々なシグナルとして記録されており、読み出し方と年代決定に細心の注意を払えば、長期間にわたる高時間分解の古気候プロキシとして気候変動研究に大きく貢献できる可能性がある。本研究では、特に涵養速度・酸素同位体比および硝酸イオンの変動に着目し、過去 170 年間の変動の復元を試みた。また、北太平洋兩岸に PDO が及ぼす影響を調べるため、カムチャツカ半島とカナダのローガン山で得られた氷コアシグナルの比較を行った。

## 分析方法

カムチャツカ半島ウシュコフスキー火山山頂のクレーター氷河で 1998 年 7 月に掘削された 211.7m の氷コアについて、表面から深度 60m までを 10cm 毎、60m-110m までを 5cm 毎にそれぞれ切断し、それぞれの氷試料を融解して、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$ 、無機イオン濃度を測定した。このサンプルの切断間隔は、1年間に 8-12 サンプルの解像度となる。分析したシグナル中、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta\text{D}$ 、d-excess、 $\text{NO}_3^-$  に明瞭な季節変化が検出されたので、これらを古気候プロキシとして解析した。 $\delta^{18}\text{O}$  については、最低値と最低値の間を一年とし、その 1 周期を読みとって水当量に変換した後、流動モデルに基づいて深度毎の歪みの影響を取り除くことで、年々の涵養速度を求めた。ウシュコフスキー山では、多少の融解が生じるものの、氷体温度が低いので、融解水は全て表面近傍で再凍結し流出することはない。このため、復元された涵養速度は、ほぼ年間降水量に等しい。一方、1 年の周期中に含まれる  $\delta^{18}\text{O}$  値を平均し、これを年平均の  $\delta^{18}\text{O}$  とした。カムチャツカ半島では、 $\delta^{18}\text{O}$  が気温に同期して季節変動することがわかっているので、年平均の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、年平均気温のプロキシと考えられる。同様に、硝酸イオン濃度についても、 $\delta^{18}\text{O}$  で周期を区分し、年平均の硝酸イオン濃度の年々変動を求めた。

## 結果

図 1 に、涵養速度(m/a)、年平均の  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) と d-excess (‰)、年平均のアンモニアイオン(ppb)と硝酸イオン(ppb)の過去 170 年間の変動史を示す。涵養速度は平均で 0.55m/a であり、FFT により 32.1、12.2、5.1、3.7 年のスペクトルが検出された。170 年間にわたる明瞭な長期変動はない。一方、 $\delta^{18}\text{O}$  は 19 世紀から 20 世紀にかけて 0.8‰ 重くなり、d-excess は 1.9‰ 軽くなった。両プロキシの短期周期としては

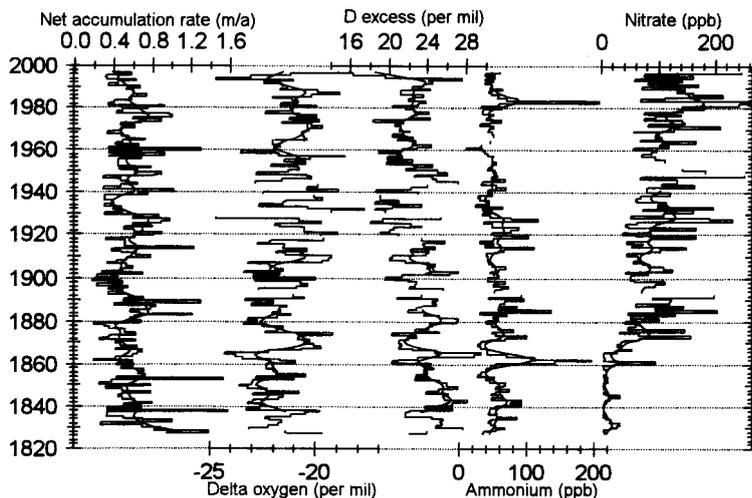
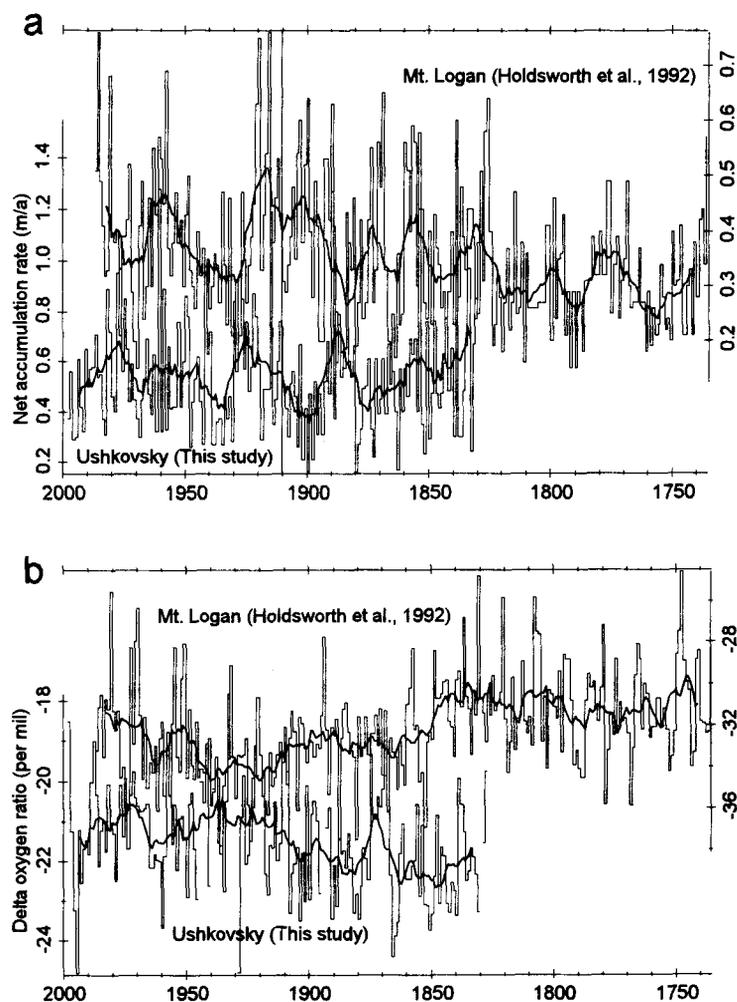


図 1 ウシュコフスキー氷冠コアから復元された種々の古気候プロキシ。

11.6, 8.0, 5.0 年のスペクトルが検出された。アンモニウムイオンには短期周期でも長期周期でも特徴的な変動は見られなかったが、硝酸イオンでは 1860 年以降濃度が上昇している。本コアには火山活動の影響が主要イオンに顕著に現れるが、硝酸イオンは火山活動に直接起因しないため、人為起源の汚染シグナルである可能性が示唆される。

第2図にウシュコフスキー氷冠で復元された a) 年涵養速度(m/a)と b) 年平均 $\delta^{18}\text{O}$ (‰)の時系列データをそれぞれカナダのローガン山で復元された同一の時系列データ(Holdsworth et al., 1992)と比較して示す。それぞれのシグナルについて、11 年の移動平均を示した。11 年の移動平均で見る限り、年涵養量にも年平均 $\delta^{18}\text{O}$ にも負の相関があるように見える。統計的な解析は、時系列データを更に過去に遡った後に実施する予定であるが、これらのデータには、北太平洋で知られる PDO とと思われる十年から数十年周期の変動が現れており、雪氷コアを用いた気候変動研究が北太平洋で生じる気候変動の解明に貢献しうることを示している。



第2図 ウシュコフスキー氷冠とローガン山(カナダ)とから得られた気候プロキシの比較

### 参考文献

Holdsworth, G. et al. (1992) Ice core climate signals from Mount Logan, Yukon A.D. 1700–1897.  
Bradley, R.S. and P.D. Jones (eds.), Climate Since A.D. 1500, Routledge, 483–504.



#### (4) 気候-植生相互作用系の理論モデリング

# 陸面物理過程と植物生長動態の相互作用に関する多層統合モデルの開発

横沢正幸（農業環境技術研究所）

## 1. はじめに

植物は、大気および土壌と相互作用を行いその結果、エネルギー・水・物質の循環が行われ陸上生態系が形成される。今日、人口増加や工業化などの人間活動および環境変化が陸上生態系に及ぼす影響が重大な問題となっている。陸上生態系の変化は、陸面における熱・水収支や微気象に影響を与え、気候システムの変化をもたらす。本研究の目的は、陸上生態系と気候システムのこれらのフィードバック過程を地域およびグローバルなスケールで解明することである。

## 2. モデル

まず、プロット・スケールにおいて植生動態と物理環境（気象）の変動を記述する統合モデル MINoSGI を開発した。このモデルでは、植物群落における微気象モデルと植物群落のサイズ構造動態モデルが統合されている。実際の樹木群落のデータを用いてこの統合モデルの有効性について検討を行う。我々の最終目標は、この統合モデルと GCM を結合し、グローバル・スケールに展開することである。

### 2-1. 植物群落における微気象モデル

このモデルは、垂直一次元多層キャノピー・モデルであり、土壌—植物—大気系における微気象を記述する。このモデルは以下のようなプロセスを考慮している：

土壌：熱・水輸送、土壌呼吸

植物：熱・水収支、光合成、呼吸、気孔の開閉、

大気：熱・水・二酸化炭素収支、乱流

放射：可視、近赤、長波

### 2-2. 植物群落におけるサイズ構造動態モデル

このモデルは、植物個体の生長と枯死の結果としての植物群落のサイズ構造の変化を記述する。サイズ構造の変化は「連続の式」で与えられ、実生の新規加入の過程はその境界条件として与えられる。植物群落微気象モデルは、気象データから各サイズクラスの植物個体の光合成速度を計算する。これらの結果は、植物群落サイズ構造動態モデルに取り込まれ、次の時間ステップでの植物群落のサイズ構造が計算される。この新しいサイズ構造は再び植物群落微気象モデルに取り込まれ、植物群落における次の時

間ステップでの物理環境およびそれらに対応する植物個体の光合成速度が計算される。以上のプロセスにより、植生動態と気候変動の相互作用が記述される。

### 3. 結果と議論

我々の統合モデルを検証するために、常緑針葉樹であるスギ (*Cryptomeria japonica*) 林のデータ (名古屋大学演習林) を用いた。これは、1982年から1988年 (樹齢、20から26年) までのスギ個体の生長のデータである。このデータの詳細は、勝野氏の名古屋大学農学部・博士論文 (1990) に与えられている。樹木個体のアロメトリー関係、光合成速度、呼吸速度、個体の生長速度など必要なデータはすべてこの学位論文から採用した。また、このスギ林の近くの気象データも入手した。

1983年のサイズ構造を初期値として、我々の統合モデルに基づき5年間におけるスギ林のサイズ構造の変化をシミュレートした。植物群落微気象モデルにおいては、数値解析の時間ステップは1時間とし、植物群落サイズ構造動態モデルにおいては1日とした。シミュレーションの結果は、実際に観測されたスギ樹高のサイズ分布を非常によく再現していた (図1)。我々の統合モデルは、このように植物群落における生長動態と陸面物理過程の相互作用をよく記述しているモデルであると言える。

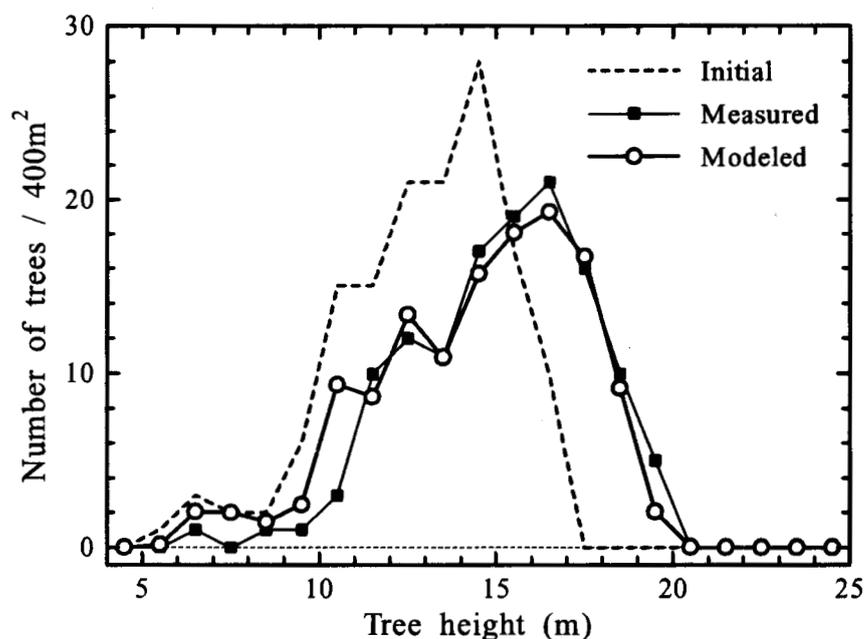


図 1. スギ林の樹高サイズ頻度分布の5年間の変化。野外での実測値と統合モデルによるシミュレーションの結果を示す。

## Surface Controls on Global and Regional Climate: A Large-scale Perspective

Thomas N. Chase  
Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences,  
University of Colorado. USA

### INTRODUCTION

Climate change predictions made by state of the art general circulation models for several key variables have not been confirmed in observational data in recent decades. For example, Advanced signs of anthropogenic warming in the observational record would be expected in the free troposphere and in high latitudes, area where climate models simulate the greatest and earliest warming (IPCC 2001). Observations over the past 22 years from 3 sources (satellite, weather balloon and NCAR/NCEP reanalysis data), however, indicate no warming at all for the troposphere above the surface (Figure 1). Similarly, accelerated warming in warm season Arctic and Antarctic temperatures has not been obvious. Sea ice in both the northern and southern hemispheres has been on the increase for the past 15 years. Antarctica has shown significant recent cooling trends while the Arctic apparently has warmed somewhat in recent decades but at a rate slower than the rest of the planet (Pryzbelak, 2000). These represent major discrepancies between theory and observation.

Such discrepancies between model simulations and observational data may be partially related to unrepresented surface forcings. Two examples of such processes are presented here: 1) the climatic effect of observed changes in landcover due to human activity and, 2) regulation of high latitude winter tropospheric temperatures by convective processes; a mechanism which might explain the lack of accelerated Arctic warming.

### GLOBAL LANDCOVER CHANGES

Figure 3a, (Chase et al., 2002) shows simulated changes of surface temperature due to historical landcover changes and indicates regional temperature signals of up to 3 degrees C. The percentage ratio of surface temperature changes due to historical vegetation change to those due to present levels of CO<sub>2</sub> in a coupled GCM simulation are shown in Figure 3b (i.e. effect of vegetation/effect of CO<sub>2</sub> X 100) indicates that the effect due to landcover change is similar in magnitude to that of present day levels of CO<sub>2</sub> over large parts of the globe and can often be extensively larger. Landcover change is not accounted for in models or observational studies of current climate trends (IPCC, 2001). Changes in vegetation at regional scales may alter global circulation patterns (Chase et al. 2000). Circulation shifts have been identified as the cause of most of the surface warming signal in N.H. winter (Hurrell, 1996) and landcover changes may have played some role in these changes.

## REGULATION OF HIGH LATITUDE TEMPERATURE

An observed minimum in Arctic winter time temperatures in the midtroposphere (500mb) of approximately -45C has been recently documented (Chase et al. JGR: IN PRESS). This minimum temperature is reached early in the Arctic winter season and despite continued net radiational loss, Arctic temperatures do not cool further. -45C is also the temperature which would be predicted from an atmosphere which has been recently warmed by convective processes. Climatological evidence demonstrates that Arctic temperatures are regulated by convection caused by contact with relatively warm sea surface temperatures some distance south. Under these conditions, Arctic warming would be difficult without substantial sea ice melt and therefore may explain the lack of an observed accelerated warming.

## REFERENCES

- Chase, T.N., R.A. Pielke Sr., M. Zhao, A. J. Pitman, T.G.F. Kittel, S.R. Running, R.R. Nemani. The Relative Climatic Effects of Landcover Change and Elevated Carbon Dioxide Combined with Aerosols: A Comparison of Model Results and Observations. *J. Geophys. Res.* 106:31,685. (2002).
- Chase, Thomas N., Roger A. Pielke Sr., Timothy G.F. Kittel, Ramakrishna Nemani, Steven W. Running. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics* 16: 93-105. (2000)
- Chase, T. N., B. Herman, R. A. Pielke Sr., X. Zeng, M. Leuthold. A proposed mechanism for the regulation of mid-tropospheric temperatures in the Arctic. *J. Geophys. Res.* (IN PRESS)
- Hurrell, James W. 1996. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature *Geophysical Research Letters*, 23(6): 665-668 (1996).
- IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press.
- Przybylak, Rajmund, Temporal and spatial variation of surface air temperature over the period of instrumental observations in the Arctic. *Int. Jour. Clim.*, 20, 587-614, (2000).
- Zhao, M., A.J. Pitman, T.N. Chase. The impact of land cover change on the atmospheric circulation. *Clim. Dyn.* 17: 467-477.(2001)

OBSERVATIONS: GLOBAL TEMPERATURE ANOMALY

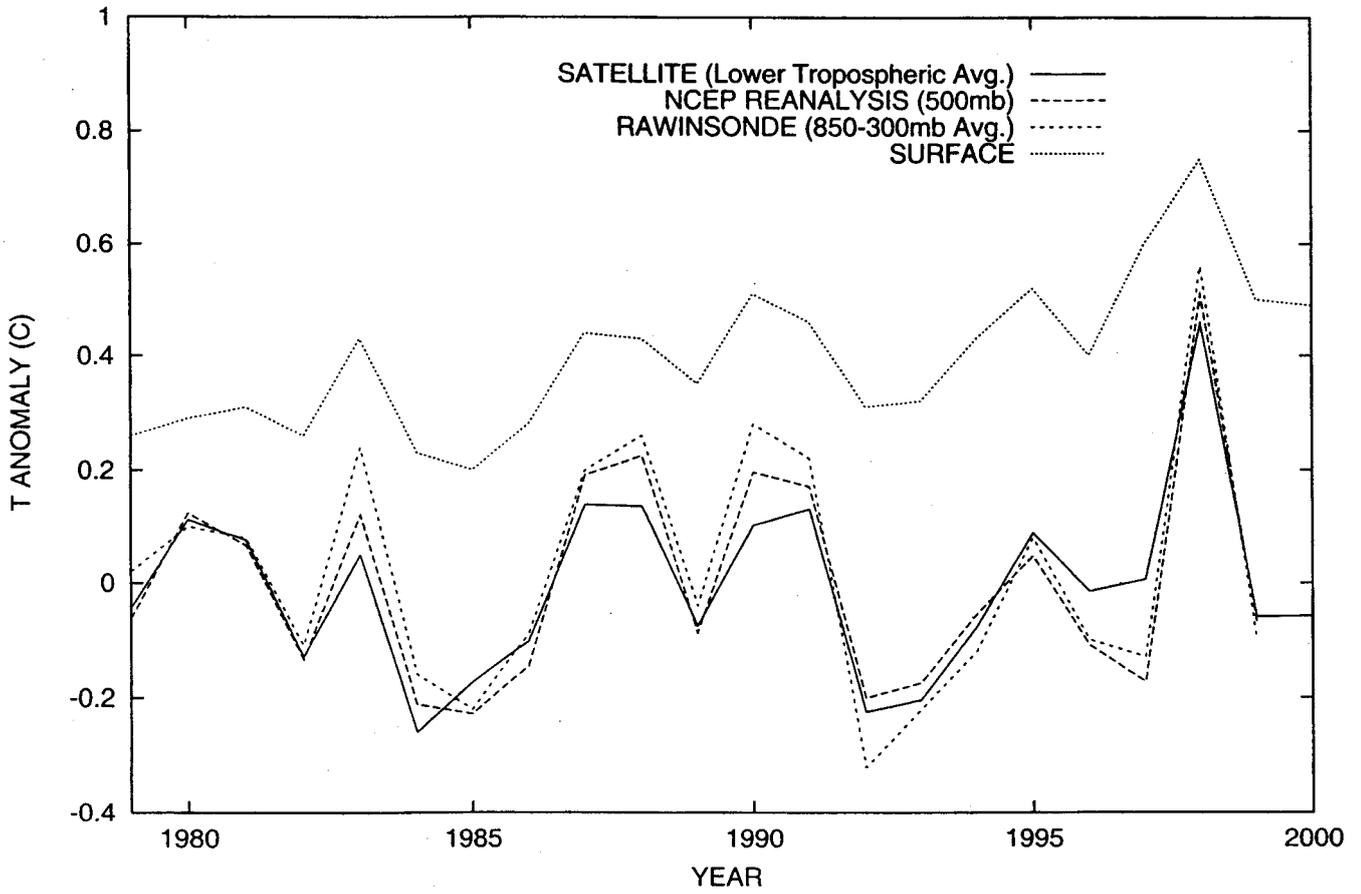
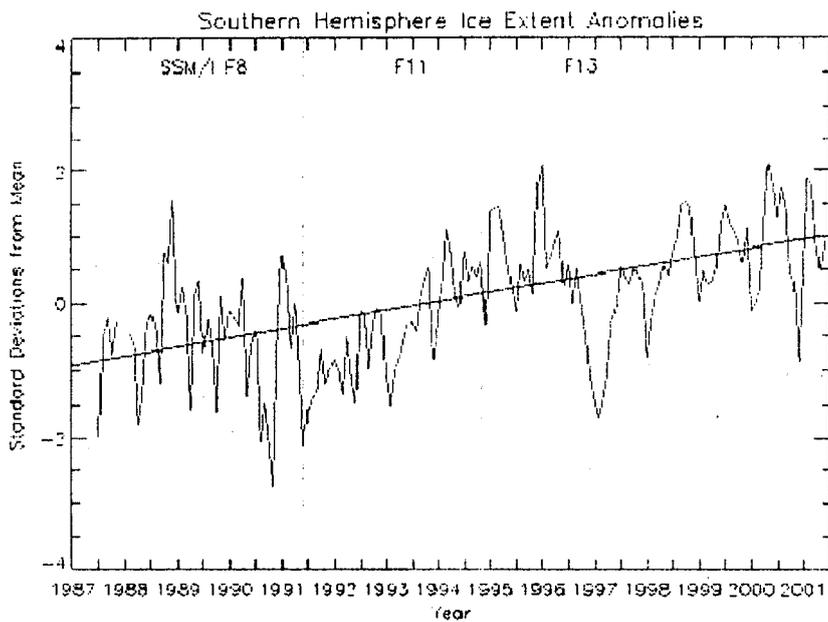
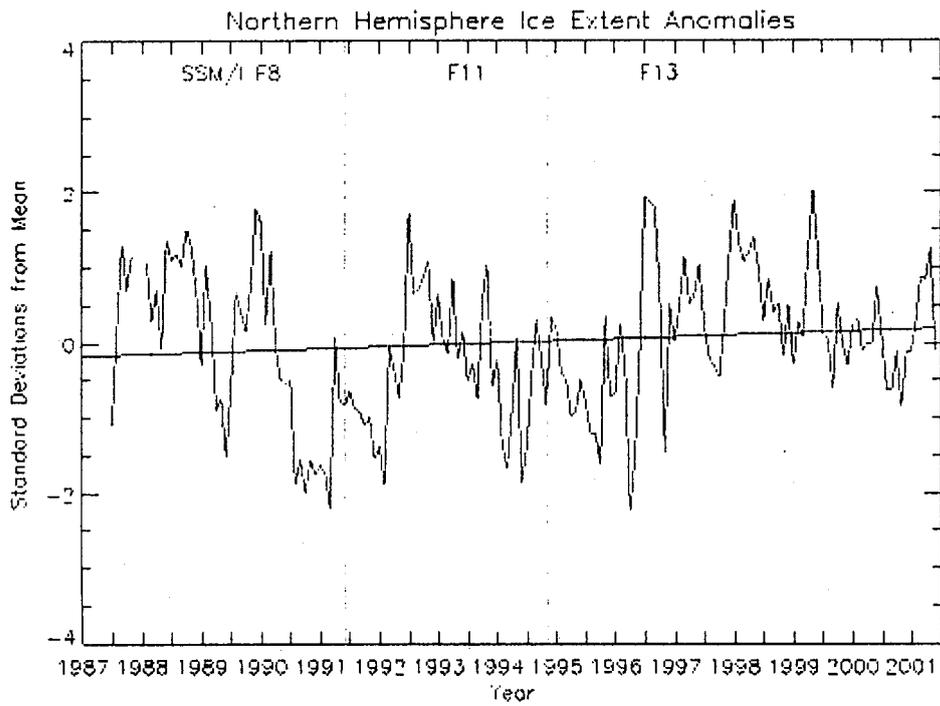
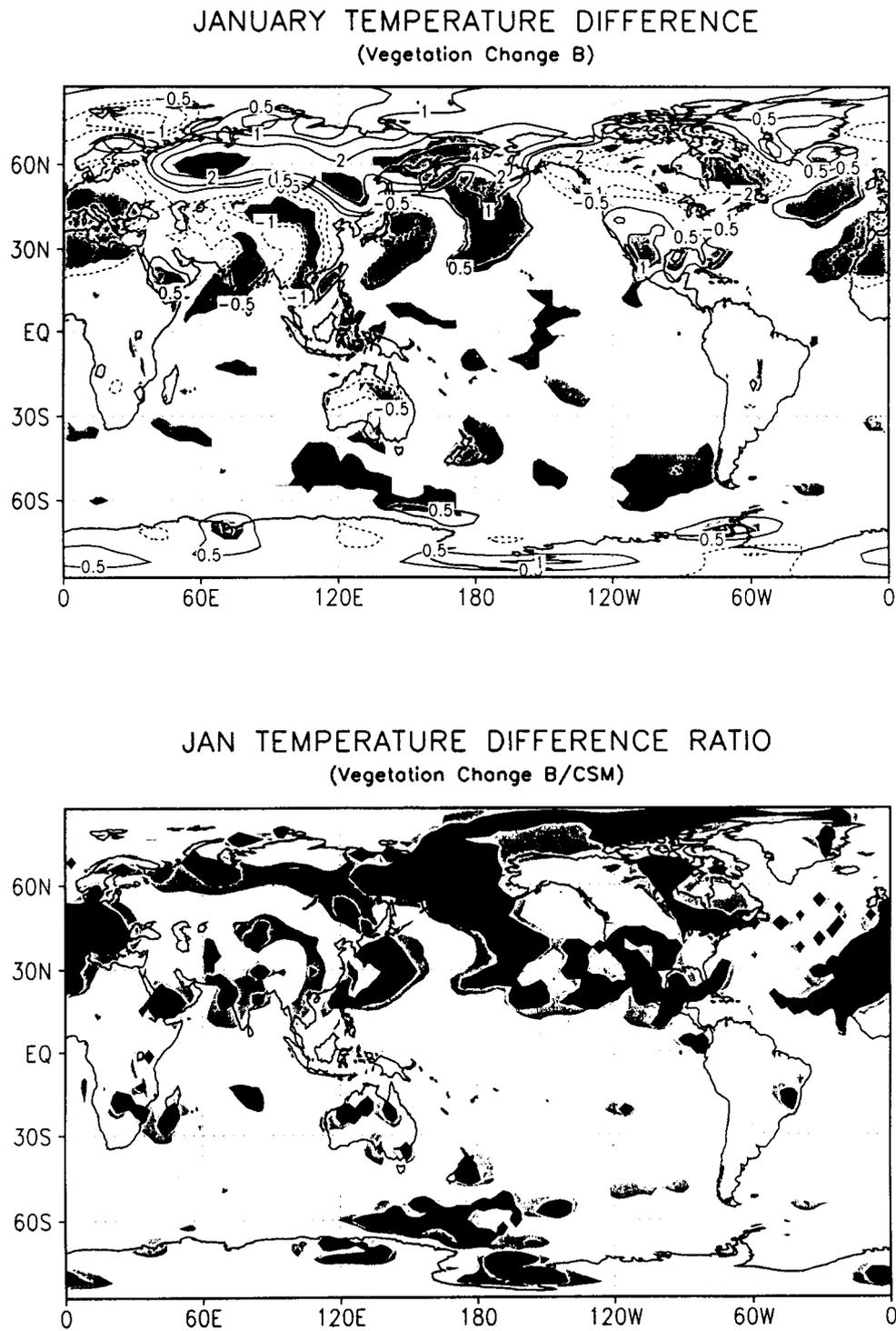


Fig. 1. Globally averaged temperature trends at the surface (solid line) and 3 measures of free tropospheric temperatures (dashed and dotted lines). Note: surface trend is offset from tropospheric trends (i.e. the anomalies are computed from a different climatology) for clarity.



**Fig. 2. Hemispherically averaged sea ice extent anomalies since 1987 expressed as standard deviations from the mean computed by the U.S. National Snow and Ice Data Center. a)(above) Northern Hemisphere, b)(below) Southern Hemisphere.**



**Fig. 3. a)(above) Difference in near surface air temperature due to observed changes in landcover as simulated by a general circulation model (from Chase et al., 2002 after data by m. Zhao). Statistically significant changes are shaded, and b)(below) ratio of the effect of present day landcover changes (from Figure 3a) to those due to present day levels of CO<sub>2</sub> as simulated in general circulation models. Shading is 50% of CO<sub>2</sub> effect (lightest) to 200% CO<sub>2</sub> effect (darkest).**

# 雲-放射 と 植生

藤吉康志 (北大低温研)

## 1. 序

雲は、地球上の水循環、エネルギー循環、そして物質循環に大きな役割を果たしている。従って、雲（及び降水）をモデルの中でどれだけきちんと扱っているかによって、天気や気候予測結果が大きく変化する。このことは、植物による二酸化炭素の吸収量を見積もる際にも同様である。例えば、落葉樹林と大気間の二酸化炭素の年間交換量は、①成長期の長さ、これは春と秋の気温に左右される、②夏の雲量、③休眠期の地中温度、これは積雪などの地表面状態に左右される、④夏の渇水、に主に左右されている (Goulden 他, 1996)。これらの4要素と雲との関連は明らかであろう。しかしながら、雲の取り扱いや、雲が存在する大気条件下での放射収支の計算は現今モデルでは極めて不十分であり、気象・気候モデルでもっとも不確定性が大きい要素のひとつである。

以下の2節では、森林が雲の発生に及ぼす効果と、雲が植物の生長に及ぼす効果について述べる。3節では、エアロゾルが植物の生長に及ぼす効果について述べ、4節ではエアロゾルが雲に及ぼす効果についてこれまでの研究事例を用いて簡単に解説を行った後、最後にこの両者の関連を明らかにするために今後どのような観測が必要かについて述べる。

## 2. 境界層に形成される積雲と植生

大気と陸面は、日変化から百年という様々な時間スケールで相互作用している。境界層は、陸面からの顕熱と潜熱フラックスによって日変化し、時に雲が発生する。顕熱と潜熱フラックスはもちろん陸面状態に大きく左右される。Rabin and Martin (1996)は、森林面積が少ない陸面の方が、多い陸面よりも背

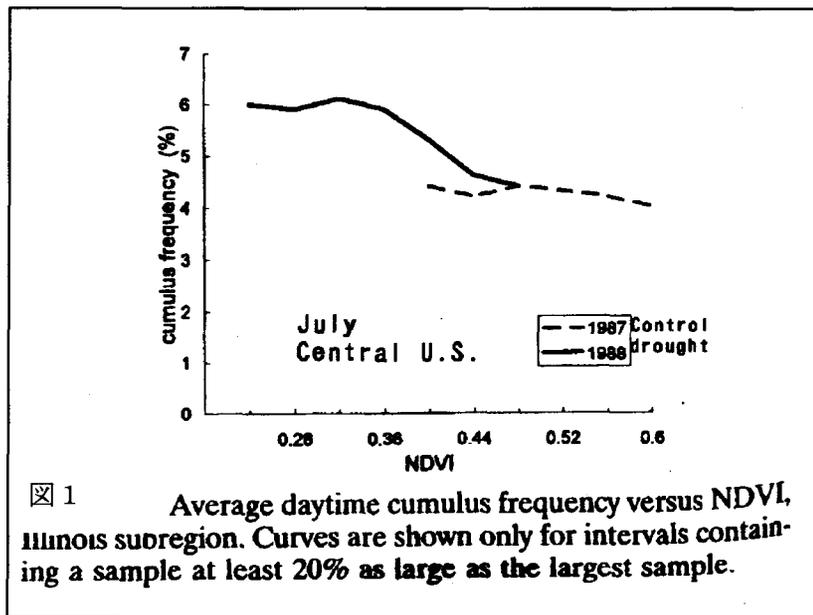
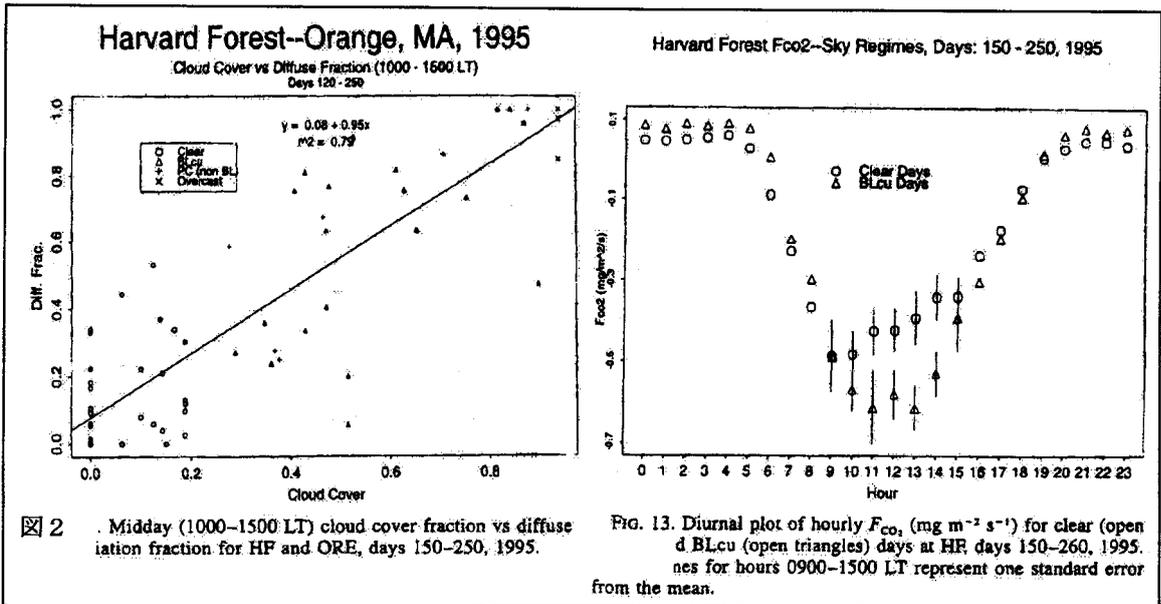


図1 Average daytime cumulus frequency versus NDVI, Illinois subregion. Curves are shown only for intervals containing a sample at least 20% as large as the largest sample.

の低い積雲が発生しやすいと述べている。このような積雲はまた、大都市の中心部に発生しやすい傾向がある。彼らはまた、干ばつ年と通常時の年に行った観測結果を比較して、

背の低い積雲の日中の出現頻度は、NDVI（規格化された植生指標）に比例して減少していると述べている（図1参照）。

一方、晴天積雲が発生した方が、植物の生育に好都合な光環境が形成されることも知られている。例えば、晴天積雲は地上気温の日中での上昇・夜間での低下を適度に抑える。また、雲からの散乱光は、直達光に比べて森林内部にまで入ることが可能である。更に、図2に示したように、晴天積雲が存在した方が、森林による正味の炭素の同化量が増加するが、これは、直達光のみだと樹冠のみが熱せられるため、光ストレスによる成長抑制が早めに起こってしまうためと考えられている（Freedman et al., 2001）。



### 3. エアロゾルと植生

エアロゾルは、太陽放射を散乱したり吸収する効果（直接効果と呼ばれる）があるため、当然、その量の大小は、植生の炭素同化量にも影響する。図3は、森林火災で発生したエアロゾルが、太陽放射全体の入射量(SolDn)と、実際に光合成に使われる波長帯に限った入射量(PAR)にどのような効果を与えたかを示したものである(Betts et al., 1996)。煙はSolDnを約30%減少させ、一方、PARは約40%減少している。すなわち、森林火災によって発生したエアロゾルは地上への放射収

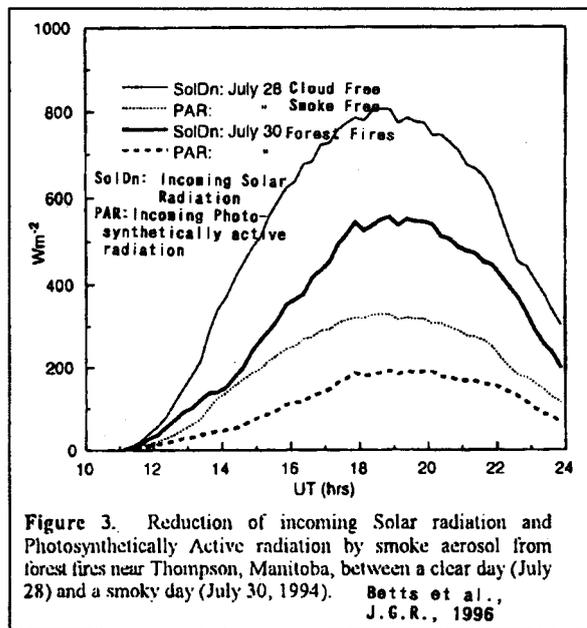


Figure 3. Reduction of incoming Solar radiation and Photosynthetically Active radiation by smoke aerosol from forest fires near Thompson, Manitoba, between a clear day (July 28) and a smoky day (July 30, 1994). Betts et al., J.G.R., 1996

支を大きく変化させるが、同時に光合成に使われる波長帯を効率良く吸収してしまうため、植物の光合成に対する影響はさらに大きいことが分かる。

#### 4. エアロゾルと雲の光学的特性

上で述べたように、雲とエアロゾル双方はそれ自体で、植物の光環境に大きな影響を及ぼしている。一方、雲の放射特性を決定する雲水量や雲粒の粒径分布は、エアロゾルによってほぼ決定される。これまで多くの大気大循環モデルや気候モデルでは、雲水量の効果について主に議論しており、雲粒の大きさ（10ミクロンで固定）の効果についてはあまり考慮されていなかった。ところが、Hu and Stamnes (2000)が行った計算によれば、雲粒の大きさがほんのわずかわるだけで二酸化炭素の

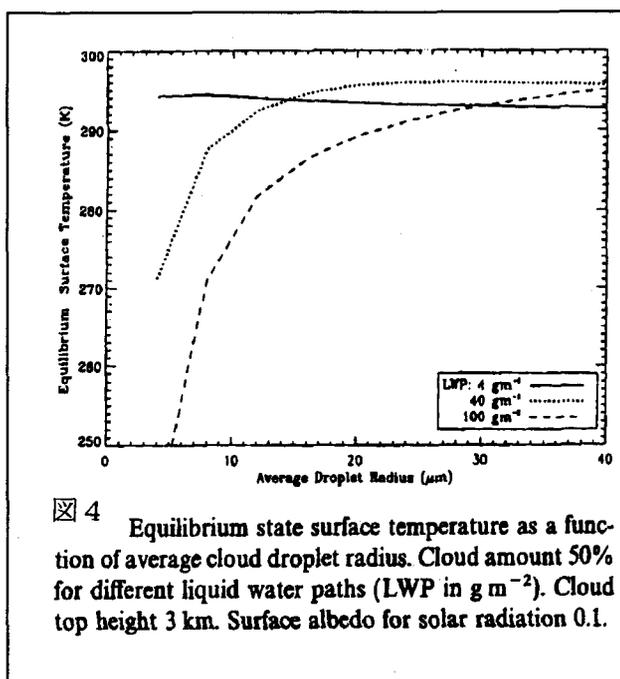


図4 Equilibrium state surface temperature as a function of average cloud droplet radius. Cloud amount 50% for different liquid water paths (LWP in  $\text{g m}^{-2}$ ). Cloud top height 3 km. Surface albedo for solar radiation 0.1.

倍増によって引き起こされる温暖化よりもはるかに大きなインパクトを及ぼすことが明らかとなった。図4はその結果であるが、ある程度以上の雲水を含む雲であれば、雲粒の半径が10ミクロンよりも小さくなるにつれて地表の平衡温度が急激に低下する。

そこで、次に問題となるのが、雲粒の大きさを決定する要因である。Kuba et al. (2002)は、エアロゾルの中でも実際に雲粒に成長する雲凝結核(CCN)が雲の光学的特性に及ぼす効果（いわゆる間接効果）について詳細なモデルを用いて調べた（図5）。その結果、雲の吸収率は主に積算雲水量に、反射率は積算雲水量と雲粒の数濃度に依存することが明らかとなった。更に、上昇流とCCNの粒径分布によって、雲粒の数濃度がどのように変化するかを調べた結果、雲粒の数濃度（従って雲の反射率や透過率）はCCNの数濃度に比例して単調に増加するのではなく、数濃度には或る一定の上限が存在することを見いだした。これは、Twomey's (1959)が近似式を用いて得た結果とは異なっている。ただし、この上限は上昇流の大きさに依存する。

最近、上述のエアロゾルの2つの効果、すなわち直接効果と間接効果以外に、もう一つの効果（ハイブリッド効果）が指摘されている（Aoki and Fujiyoshi, 2002）。すなわち、雲が存在するような湿った状態では、雲と雲の間に存在するエアロゾルは、乾燥したエアロゾルよりも粒径が平均的に大きい（図6）。この湿ったエアロゾルが空間に占める割合は、雲が占める割合よりも数倍大きく、従って、このハイブリッド効果は、放射収支に対して無視できない。

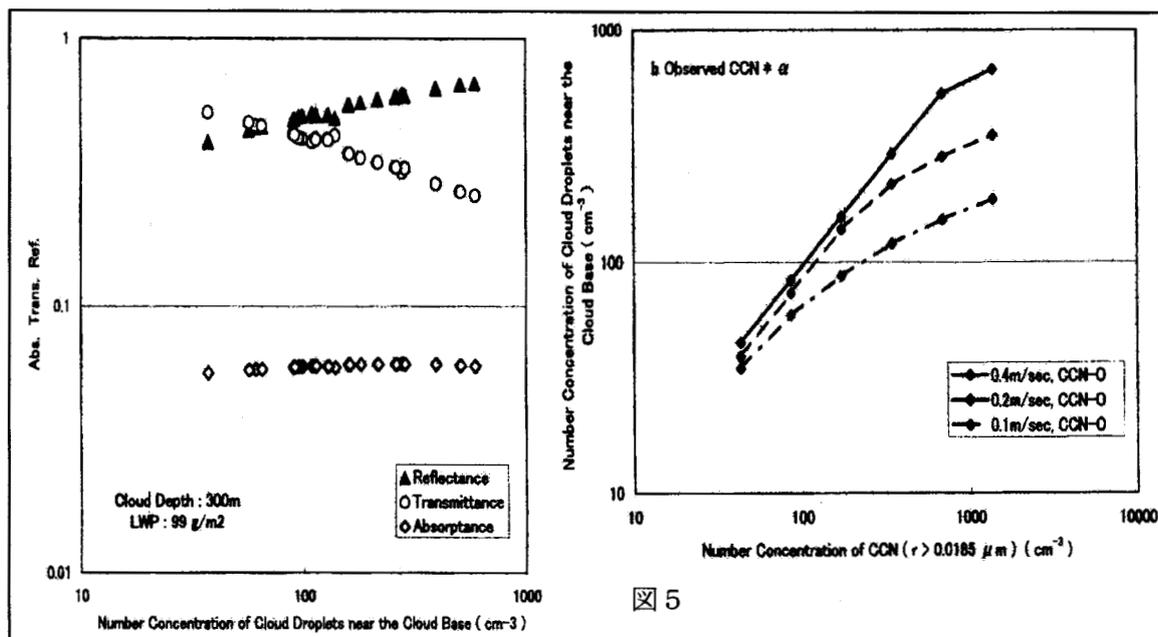


図 5

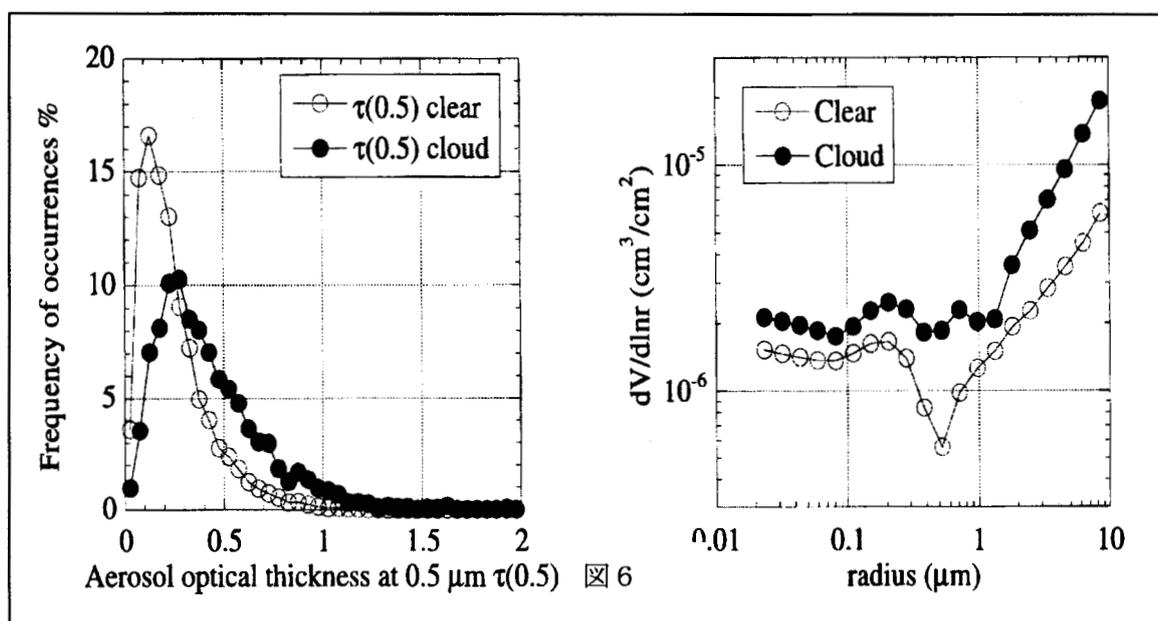


図 6

## 5. 研究計画

典型的な大循環モデルの格子間隔は水平方向で50–200 km、鉛直方向で500 m程度である。従って、これらのモデルでは、1 km以下の晴天積雲を表現することは不可能である。そこで、本研究の目的である「雲–放射–植生相互作用」を研究するためには大気–生態系結合雲解像モデルの開発が必要である。このモデルを寒冷域に適用するためには、雪氷モデルとも結合する必要がある。なぜならば、序でも述べたように、植物の成長期における陸面状態や大気環境は、雪氷に大きく影響されるからである。例えば、土壌水分や地温は積雪量（単純な積算降雪ではなく吹き溜まりを考慮した積雪量）に影響される。

我々は、エアロゾルから雲粒の粒径分布を計算する微物理モデルの開発をほぼ終了した。また、陸面と結合した雲解像モデルも利用可能である。そこで、次に重要な課題は、積雪モデルと植生の成長モデルとの結合と、雲の3次元形状を考慮した放射スキームの開発である。そのためには、雲・エアロゾル・放射・植生の総合的な観測に基づいたデータが必要である。我々は、北海道の母子里、苫小牧の演習林で以下の測定を行う計画である。

雲：雲頂、雲底、多層構造、雲量、雲水量の鉛直分布、雲粒濃度や雲水量の微細な変動（1 km以下）、上昇速度

エアロゾル：高度分布、光学的厚さ、粒径分布と化学組成

放射：短波・長波

その他、気温と水蒸気、顕熱・潜熱フラックス、風の鉛直分布などである。

幸い、3次元走査型のドップラーライダーが平成14年度に導入される予定であり、これによって、植生が境界層の発達に及ぼす効果（例えば、森林上空と裸地上空でのプルーム（熱泡）の発生頻度と大きさの違い）を見ることができ、上記の雲・エアロゾルに関する測定項目のかなりの部分について測定が可能となるであろう。

#### 引用文献

- Aoki, K. and Y. Fujiyoshi, 2002: Long-term monitoring of aerosol optical properties by using a ground-based sky radiometer at Sapporo, Japan, *J. Meteor. Soc. Japan* (to be submitted).
- Betts, A. K. and J. H. Ball, 1996: The land surface-atmosphere interaction: A review based on observational and global modelling perspectives. *J. Geophys. Res.*, 101 (D3), 7209-7225.
- Freedman, J. M., D. R. Fitzjarrald, K. E. Moore, and R. K. Sakai, 2001: Boundary layer clouds and vegetation-atmosphere feedbacks. *J. Climate*, 14, 180-197.
- Goulden, M. L., J. W. Munger, S-M Fan, B. C. Daube, and S. C. Wofsy, 1996: Exchange of carbon dioxide by a deciduous forest: response to interannual climate variability. *Science*, 271, 1576-1578.
- Hu, Y. and K. Stamnes, 2000: Climate sensitivity to cloud optical properties. *Tellus*, 52B, 81-93.
- Kuba, N., H. Iwabuchi, K. Maruyama, T. Hayasaka, and T. Takeda, 2002: Effect of Cloud Condensation Nuclei on the Optical Properties of a Warm Layer Cloud - Numerical simulation with a microphysical cloud model -. *J. Atmos. Sci.* (revised).
- Rabin, R. M. and D. W. Martin, 1996: Satellite observations of shallow cumulus coverage over the central United States: An exploration of land use impact on cloud cover. *J. Geophys. Res.*, 101(D3), 7149-7155.
- Twomey, 1959: The nuclei of natural cloud formation, Part II: The supersaturation in

natural clouds and the variation of cloud droplet concentration. Geofis. Pura. Appl., 43, 243-249.

### 3. 外部評価委員会 委員名簿

笹 賀一郎 教授

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター

藤井 理行 教授

国立極地研究所・北極圏環境研究センター長

福嶋 義宏 教授

総合地球環境学研究所

Prof. Douglas L. Kane

Water and Environmental Research Center, University of Alaska, Fairbanks, USA

Prof. Thomas N. Chase

Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES) and Department of Geography, University of Colorado, USA

Prof. Eugene Vaganov

V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Russia



## 4. 評価と提言

## 北海道大学低温科学研究所「A・B・Cプロジェクト研究」への期待

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター  
笹 賀 一 郎

インターナショナル・ワークショップ「Atmosphere-Biosphere-Cryosphere interaction in the Cold Terrestrial Region」に参加させていただいた。本ワークショップは新たなプロジェクト「寒冷圏における大気 (Atmosphere) - 植生 (Biosphere) - 雪氷 (Cryosphere) 相互作用の解明」の立ち上げにもとづくものであり、これまでの COE プロジェクトをいっそう発展させようとする壮大な計画に、多くの啓発を受けるとともに、強い期待を抱くことになった。北海道大学・北方生物圏フィールド科学センターに所属し、森林や河川を中心に土地利用や環境保全を考えている立場から、本プロジェクトに対する感想と期待を述べさせていただくことにしたい。

本ワークショップでは、新たなプロジェクト研究について、「大気」関係と「エネルギー・水」関係・「植生」関係・「古環境・古植生」の4分野にわけて報告がなされた。それらは、オホーツク海周辺の寒冷陸域を主な対象として、植物生理や生態学などにもとづく植生変動の解明や陸域地表層におけるエネルギー・水・物質循環の解明・気候や植生を中心とした古環境の再構築・モデルの構築などをとおして、大気-植生-雪氷の相互作用のプロセスやメカニズムの解明をおこなおうとするものであった。広範な分野におよぶ研究課題が設定されているだけではなく、寒冷陸域が気候変化にどのように応答し、気象にフィードバックするののかという、全地球的な環境保全の課題に集約されようとしていた。とうぜん、地球温暖化との関連も中心的課題の一つとして位置づけられており、現代的な課題にも積極的に対応していくように計画が練られていた。また、研究対象地域も、北海道から中国華北地方・東シベリア・カムチャッカ半島と、地球温暖化等の影響評価や保全対策においてもっとも重要な地域の一つとされる寒冷地域の広大な範囲を中心フィールドとする計画になっていた。北方の寒冷地域は環境変化の影響が極端にあらわれるとともに、森林の伐採をはじめとした人間活動や開発の影響も大きくあらわれる地域と考えられる。本プロジェクトにおいては、これらの課題を十分に考慮した地域選定がなされていると判断された。研究方法においても、フィールド・ワークから長期観測・モデルの構築と、あらゆる手法が駆使される計画となっていた。低温科学研究所からは各分野1~2名の合計7名の報告がなされたが、低温科学研究所の充実したスタッフや組織力・これまでのプロジェクト研究で培われたノウハウなどにより、個々の研究は十分に達成されるものと期待された。

ただ、個々の報告だけでは、それぞれ研究がどのようにして関連づけられるのか、個々の研究が本プロジェクトのなかでどのようにして総合されるのかが理解しづらかった。研究課題間の関連についての説明が少なかったことと、研究対象の階層的な相違や時・空間的な相違をいかにしてスケール・アップ (スケール・ダウン) するののかという手法に関する報告部分も少なかったことによると思われた。しかし、個別研究成果の関連づけやスケール・アップ方法の確立は、ほとんどのプロジェクト研究が直面している共通の課題である。とくに、広域を対象とした野外観測を中心とした総合的プロジェクト研究の発展にお

いては、スケール・アップや総合化手法の確立が早急に解決されなければならない課題となっている。個々の報告がスケール・アップや総合化などに触れることができなかったのは、プロジェクト研究そのものが置かれている状況や、報告時間の制約などから、致し方のないことと思われた。

ただし、スケール・アップや総合化の計画については、ワークショップ最後のプロジェクト研究の全体的説明と、総合討論によって補うことができた。総合討論においては、それぞれの対象地域における課題の相違や研究対象の階層的相違、調査・観測の手法やスケールの相違が意識され、研究課題や研究対象の時・空間的スケールの整理、調査・観測手法や精度の統一についての議論がなされていた。研究成果の総合化やスケール・アップの方法については、リモートセンシング手法とモデル化を中心とした議論がなされ、そのためにも統一された情報の収集とデータベースとしての体系的整理方法が必要であることが主張されていた。大気-植生-雪氷間の相互作用を中心とした本プロジェクト研究においては、将来予測への展開のためにも、モデルによる総合化がもっとも適切な方法であり、そのことが十分に意識されたとりくみになっていると感じられた。

本ワークショップで議論された研究成果のスケール・アップや総合方法の確立は、北方生物圏フィールド科学センターのとりくみにおいても共通の課題となっている。「フィールド科学センター」での検討や試行錯誤の経験をふくめて考えると、スケール・アップや総合化にあたっては、ある特定フィールドを意識的にとりあげ、総合的な観測・研究を集中的に実施することで、とりあえず強引にモデルの組立をおこなってみることも必要かと思われた。広大な地域において多数のフィールドを対象とする研究においては、対象地ごとに条件が異なることや経費・労力などによる制限から、全ての対象フィールドで総合的な観測を実施することは困難であろう。条件の良いフィールドでの集中観測や操作実験を加えた観測をおこなうことでモデルを構築し、それをスタンダードとしながら各フィールドにおける研究成果で肉付けしていくことも、結果的には有効な方法になるのではないかと考えた。ワークショップの総合討論においても、様々なケースについてモデル構築の方法が議論されていた。本「A・B・Cプロジェクト研究」のとりくみにより、個々の研究成果の総合化やモデルの構築方法についても、新たな方向が提起されるとの強い期待をもつことができた。

本ワークショップでは、多岐にわたる研究課題について報告されたが、環境と植物の応答や相互作用、とくに森林が重要対象として取り上げられていたことに興味をひかれた。低温科学研究所からの報告7件のうちの6件までが森林に関連するものであった。また、そのうちの2件は、北方生物圏フィールド科学センターの森林フィールドを利用した研究報告となっていた。従来、森林の形態は、気候帯や環境条件によって決定されるという、一方的な関係で捉えられていた。実際の森林は、環境変化への応答や相互作用をおこなうものであり、環境保全への対応においては、森林からのリアクションや森林のもつ環境保全機能の解明が必要とされている。「フィールド科学センター」には多様な森林フィールドが存在し、総合的な「森林研究」のフィールドとして、とくに集中的観測や野外操作実験のフィールドとしての有効性を備えている。「A・B・Cプロジェクト研究」においても、本フィールドの活用や共同研究の前進により「森林研究」がいつそう拡大・充実し、プロジェクト研究全体の大きな成果へとつながってくれることを期待したい。

北海道大学低温科学研究所研究プロジェクト  
「環オホーツク圏における大気-雪氷-植生の相互作用」

「雪氷コアによる古気候・古環境復元の研究計画」評価レポート

藤井理行

(国立極地研究所北極圏環境研究センター長)

1) 目的に関する評価

雪氷コアが過去の気候や環境復元の有力な記録媒体として認知され、地球上各地の氷河や氷床で雪氷コア掘削が行われている。低温研では、COEプロジェクト「オホーツク海プロジェクト」の一環で1998年にカムチャツカ半島のUshkovsky氷冠で雪氷コアを掘削し、そのコア研究によりカムチャツカ半島での過去170年間の気候変動の実態を明らかにした。その成果は、カムチャツカ半島での気候変動の実態を初めて明らかにした点で、高く評価できる。本計画は、COEプロジェクトをさらに発展させ北太平洋の気候変動をベーリング海を挟んだ東のMt. Loganでの雪氷コアとの対比により、アリューシャン低気圧の消長やDICE (Decadal and Interdecadal Climatic Event) との関連解明を目指すものである。リージョナルな気候変動をさらに広域な視点で捕らえようとする視点、その変動モードを明らかにしようとする視点は、コアの対比研究の新しい潮流を示すもので高く評価できる。

2) フィールド観測計画に関する評価

本計画は5カ年計画として、2002年にカナダのMt. Loganとカムチャツカ半島Ichinskiyでの雪氷コア掘削、2003年にシベリア東部No. 31氷河での掘削、2005年にカムチャツカと東シベリアでのモニタリング観測を、フィールドワークとして予定している。Mt. Logan計画は本計画の目的から妥当な計画である。Ichinskiy計画は、Ushkovsky氷冠コアの地域代表性を検証する意味も持ち合わせており、妥当な計画であると思われる。Ushkovsky氷冠は、火山クレータを埋めるように形成された氷河でその特殊な地形の影響を評価するためにも、隣接する地域でのコアの採取が望まれる。2005年に予定されているモニタリング観測については、その目的が雪氷コアの研究との関連で不鮮明である。コアシグナルの形成過程という点では、コア掘削地点に積雪計を設置し、その設置期間に堆積した積雪の採集を行うなどの方法がより明確でないかと思われる。

3. 解析計画に関する評価

解析計画の詳細は不明であるが、Ushkovsky計画で進められた方法の準用と想定して評価する。本計画は、Ushkovskyコアとの対比研究が柱となるので、対比に耐えうる時間軸の確定が何よりも重要である。Ushkovskyコアでは、季節変化シグナル、タイムマーカとしての火山灰、数値シ

ミュレーションなど独立した複数の手法を用いて時間軸を確定したのは、高く評価できる。本研究ではこうした方針を踏襲することが重要である。タイムマーカとしての火山灰は、Mt. Logan ではアリューシャンやアラスカの火山活動の影響を受ける地域であること、Ichinskiy ではカムチャツカ半島の西側（偏西風の風下）に位置するためBezymianny などの火山の影響が弱くなること、に留意してコア解析計画を立てる必要がある。コア解析による環境変動研究という点では、2. で触れたように、コアシグナルの形成過程、エアロゾルのトラジェクトリーに関する基礎研究などが重要であろう。また、シグナルの解釈として、イオンバランス、エアロゾルの大気輸送中での酸との化学反応などを視野に入れた研究が必要である。モニタリング観測計画については、前述したように、コアシグナル形成過程という点に焦点を絞って、解析計画を再構築することを推奨する。

#### 4. 共同研究等に関する評価

低温科学研究所は全国共同利用研究所であるので、本計画がUshkovsky計画のように他機関の研究者との共同研究として計画されていることは、高く評価できる。しかし、物質循環や気候モードなどの研究に深化するためには、大気シミュレーション研究者との連携も視野に入れる必要がある。また、カナダやロシアなど現地の研究者との国際共同研究として計画されていることも評価できる。

#### 5. 総合評価

本計画は、目的、実施計画、解析計画、共同研究性などの諸点で、優れた計画であると評価できる。

## 北海道大学低温科学研究所の研究プロジェクトへの評価書

福嶋義宏（総合地球環境学研究所）

2001年12月4-5日に「大気圏・生物圏・寒冷圏の相互作用」に関する国際シンポジウムが低温科学研究所の講堂で開催された。セッションとしては、大気、エネルギー・水、植生、過去の気候・植生があり、最後に総合討論がなされた。

一般に、寒冷圏は地球温暖化の影響を大きく受けると言われているが、ここ数年のシベリアはむしろ寒冷である。温暖化のなかの寒冷がどのような事態を引き起こすであろうか。2001年の春先、レナ川では洪水氾濫が起こったが、この状況を何処かでモニターする必要があるかどうか。低温科学研究所として、最低限の現地情報取得の手段を確保するのか、あるいはする必要がないのか。新しい研究計画を立案する上でも、科学的に面白そうな課題だけを狙って取り上げるのか、あるいは、人々の暮らしを視野に入れて、その日常にも関係する問題発掘や解決策を考える上で、新しい研究目標を組み立てるかは、判断の分かれ目となる。これは、対象を国内や国外に取ろうと同様である。例えば、ロシアにおける永久凍土の研究は鉄道建設の地盤安定策や建築構造物の基礎工法、冬季の飲料水源確保というきわめて実地的な課題があって、多額の経費がつき込まれたと聞く。アラスカやカナダ北方においても、おそらく課題解決の現実的な要請に答えるための基礎となる研究が持続される中で、新たな発見が為されるのであろう。

歴史と伝統のある低温科学研究所が COE として、世界の寒冷圏研究所に伍する立場を維持発展させるにはどのような戦略をたてたら良いであろうか。重要な研究課題を海外のフィールドで展開させるには、やはり独自の日常的な情報収集を心がける必要があるであろう。前段に記した後者の視点では、現在の北海道を含む国内の寒冷地域において、どのような実際上の課題があるのか、発掘の努力が必要であろう。

さて、今回のシンポジウムで痛感したのは、それぞれの研究分野から研究課題の提起はなされたが、個々の研究の必要性は理解できるとしても、何故それを共通のプロジェクトとして合体させねばならないのかという点に関しての説得性の弱さかもしれない。それは内部討論の不足とも言えよう。なまじっか、共通プロジェクトを無理矢理作り上げるよりも、目標が明確で、方法にも独自性を有し、かつ準備が十分になされている個別分野の研究を選択するメカニズムを造って、それに適う研究を推進する方がむしろ得策と言えるかも知れない。

## ATMOSPHERE, BIOSPHERE AND CRYOSPHERE (ABC) INTERACTIONS IN COLD TERRESTRIAL REGIONS PROJECT-AN EVALUATION

Douglas L. Kane, University of Alaska Fairbanks

Goal: Elucidate the processes and mechanisms of the atmosphere-biosphere-cryosphere interactions by fieldwork, observations, and modeling to evaluate the future state of climatic system and ecosystem in these regions (Hokkaido, North China, East Siberia and Kamchatka areas surrounding the Sea of Okhotsk) as effected by global climate change.

First, this is a very ambitious research effort that will require substantial funds and time to complete. The fact that the study covers three countries (two on a large continent and one on an adjacent island), differing climates and logistically difficult regions to reach adds to the complexity.

For this project to be successful, the various tasks need to be well integrated. This translates into:

- a) All of the field scientists need to work in the same area at the same time.
- b) Numerous models be developed to couple various atmospheric, biospheric and cryospheric processes. It is too ambitious of a project to combine all of these processes into one model at this time.
- c) There is the question of what scale should be studied in the field? The scale should be large enough such that cryospheric processes (such as evaporation or transpiration) impact the atmospheric processes.
- d) Integration can be improved through the sharing of data.

The role that the Sea of Okhotsk plays on the regional climate cannot be ignored. I understand that there was an intensive five-year study of this Sea, but these processes have to be coupled with the processes over/on/in the land. Because this study and the Sea study are not proceeding simultaneously, there needs to be a confirmation that the present dynamics of the Sea are similar to the previous study period when it was studied more intensively.

It does not seem to me that the resources are available to simultaneously collect large amounts of data at various sites (for example: Hokkaido, North China, East Siberia and Kamchatka) at the same time. Studies will need to be carried out at all sites for an extended period in order to separate out natural variability from climate-induced change.

One of the real difficult problems related to hydrology is quantifying the net water flux between the ground surface and the atmosphere at a relatively large scale (medium sized watershed). We can measure fairly accurately the vertical precipitation flux and the lateral runoff flux. Estimating or measuring the vertical water flux back to the atmosphere (evaporation, transpiration and sublimation) is difficult but crucial to our understanding of ABC interactions. Surface storage and subsurface storage (or changes in each storage term) are difficult to make; therefore a water balance approach has some

problems on closure. Surface wetness is very important in the surface energy balance with latent heat fluxes dominating in wet sites and sensible heat fluxes dominating in dry sites. Both the spatial and temporal variability of soil moisture over the land surfaces and the vegetation type interact to produce the mass loss of water through transpiration.

The most important recommendation is to get everyone in the field to collect data in the same area; this will automatically generate the integration you are trying to achieve.

## **Thomas N. Chase**

Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES) and Dept. of Geography, Campus Box 216, University of Colorado, Boulder, CO 80309 USA

### General Comments:

In general a program going after very basic and difficult problems in geosciences. The interactive, interdisciplinary approach taken seems likely to be quite productive. A major question is how to scale results from all these projects to larger spatial scales. Might address this in some way as this is likely to be a continuing interpretive problem.

#### 1) Atmosphere: Cloud Radiation and vegetation

- a) A very fundamental and difficult problem and one likely to result in new insight into a complex system. cloud-radiation-surface interactions are a major source of error in models at all spatial scales. Such problems must be approached from the smaller scales upwards so this is an excellent approach.
- b) Good that not relying on models alone - actual measurements necessary. How are such extensive measurements to be taken?

#### 2) Land surface processes:

- a) The 3 dimensional structure of vegetation in general is almost never accounted for in climate studies so these are good basic problems
- b) 3 dimensional structure- how affects atmosphere.  
what about scaling these results to larger scale-Is this possible?
- c) Most of the topics can be grouped under vegetative controls on the hydrological cycle or feedbacks from the hydrological cycle so this might be an organizing theme.

#### 3) Vegetation: Energy water plants;

- a) How vegetation patterns formed in cold regions due to light stress.  
Coherently Related to other topics including 3-d structure and regulation of energy, water
- b) How to link differing scales??

#### 4) Ice core analysis:

- a) It would be beneficial for more relation with the other topics.  
The relation to SST/atmosphere interactions is made. It would also be interesting for relation to landcover, species changes in the area.  
Is this possible with ice cores - perhaps with pollen analysis?



## 5. 国際シンポジウム（プログラム）

### 北海道大学・低温科学研究所・国際ワークショップ 「寒冷陸域における大気—植生—雪氷相互作用の解明」 の開催

平成13年12月4日（火）—5日（水）  
北海道大学・低温科学研究所 新棟3階 講堂

原 登志彦（北海道大学・低温科学研究所）

北海道大学・低温科学研究所は、2001年度より5年計画で研究プロジェクト「寒冷陸域における大気—植生—雪氷相互作用の解明」を推進しています。研究対象域は、オホーツク海を取り巻く、北海道、華北、東シベリア、そしてカムチャツカです（北半球で最も低緯度に位置する季節海氷域であるオホーツク海は、1996—2000年度の低温科学研究所COE研究プロジェクトで詳しく研究されました）。これらの地域を対象に野外調査・観測、実験およびモデリングを行い、大気—植生—雪氷相互作用のプロセスとメカニズムを解明し、地球規模の環境変化がこれらの地域の気候システムおよび生態系に及ぼす影響の解明を目指しています。本研究プロジェクトには、以下の4つの分野が含まれており、それらの有機的な共同研究を行うことにより学際的な研究プロジェクトを目指しています。

- (1) 植生動態（生態、生理）
- (2) 陸面過程、エネルギー・水・物質循環
- (3) 過去の気候変動と植生変動
- (4) 気候—植生相互作用系の理論モデリング

本研究プロジェクトを推進するにあたって、さまざまな情報交換を行う場としてまた本研究プロジェクトの研究計画を広く知っていただく場として、以下のようなワークショップを企画いたしました。関心のあるかたの参加を歓迎いたしますので、ふるってご参加ください。なお、発表はすべて英語で行います。参加費は無料です。

12月4日（火）の午後6—8時に、「エンレイソウ」において懇親会を開きます。参加希望の方は、当日ワークショップの受付でお申し出ください（参加費 4500円）。

当ワークショップに関するお問い合わせは、

原 登志彦

〒060-0819札幌市北区北19条西8丁目

北海道大学 低温科学研究所

寒冷陸域科学部門 寒冷生物圏変動

TEL: (011) 706 5455

FAX: (011) 706 7142

EMAIL: t-hara@orange.lowtem.hokudai.ac.jp

までお願いします。

\*\*\*\*\*

\*From 2001, The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, is going to promote an international research program entitled "Atmosphere-Biosphere-Cryosphere Interactions in the Cold Terrestrial Regions". The study area is Hokkaido, North China, East Siberia and Kamchatka that surround the Sea of Okhotsk. We are aiming at elucidating the processes and mechanisms of the atmosphere-biosphere-cryosphere interactions by field work, observations and modelling to predict the future state of climatic system and ecosystems in these regions in relation to global climate change. The research program includes

- (1) vegetation dynamics based on plant physiology and ecology;
- (2) land surface processes, energy-water-material cycle;
- (4) reconstruction of paleo-environment (climate and vegetation);
- (3) modelling of the atmosphere-biosphere-cryosphere interactions.

To exchange scientific information for the research program, we plan to hold a workshop at the Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, from 4 to 5 December 2001. The workshop language will be English.

\*\*\*\*\*

The Institute of Low Temperature Science (ILTS),  
Hokkaido University,  
Sapporo, Japan

4-5 December 2001

International Workshop on The ILTS Research Project “Atmosphere-Biosphere-Cryosphere Interactions in the Cold Terrestrial Regions”

## PROGRAM

ILTS: The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Japan

\*: includes the ILTS Research Project plan

4 December 2001

09:00-09:15 Hara, Toshihiko (ILTS) : Atmosphere-biosphere-cryosphere interactions in the cold terrestrial regions – an opening address

### (1) Atmosphere

09:15-09:45 Yokozawa, Masayuki (National Institute of Agro-Environmental Sciences, Japan) : A multi-layered integrated numerical model of surface physics – growing plants interaction

09:45-10:25 Chase, Thomas N. (Department of Geography, University of Colorado, USA): Surface controls on atmospheric circulations with implications for global and regional climates

10:25-10:40 Coffee Break

10:40-11:10 Fujiyoshi, Yasushi (ILTS) : \*Cloud-radiation and vegetation

### (2) Energy and Water

11:10-11:50 Kane, Douglas (Water and Environmental Research Center, Institute of Northern Engineering, University of Alaska, Fairbanks, USA) : The partitioning of surface water into runoff and evapotranspiration

11:50-13:30 Lunch

13:30-14:00 Ohta, Takeshi (Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Japan) : Understanding water-energy-CO<sub>2</sub> cycles in forests under different climate conditions

14:00-14:30 Fukushima, Yoshihiro (Research Institute for Humanity and Nature, Japan) : Strategic importance of heat/ water/ CO<sub>2</sub> fluxes of cold Siberian Region

14:30-15:00 Kodama, Yuji (ILTS) : Studies on the basic processes of hydrologic cycle in snowy regions in Hokkaido

15:00-15:30 Ohata, Tetsuo (ILTS) : \*Cryosphere-vegetation interaction related to climate formation

15:30-15:45 Coffee Break

### (3) Vegetation

15:45-16:15 Kajimoto, Takuya (Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan) : Ecological features of Siberian larch forest: carbon budgets, tree growth and permafrost soil environments

16:15-16:45 Minagawa, Jun (ILTS) : Photosynthesis in winter: How do plants protect themselves from high light stress?

16:45-17:15 Sumida, Akihoro (ILTS) : \*Energy, water and plants: a perspective of intensive studies in Hokkaido by the vegetation team

18:00-20:00 Banquet at Enreisou (Faculty House of Hokkaido University)

5 December 2001

### (4) Past Climate and Vegetation

09:00-09:40 Vaganov, Eugene (V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of

Sciences, Russia) : Dendroclimatic study in Siberia: new results and perspectives

09:40-10:10 Fujii, Yoshiyuki (National Institute of Polar Research, Japan) : NAO and AO signals recorded in Greenland and Svalbard ice cores

10:10-10:30 Coffee Break

10:30-11:00 Fukuda, Masami (ILTS) : \*Reconstruction of past forest disturbance related to Alas formation in East Siberian permafrost regions

11:00-11:30 Shiraiwa, Takayuki (ILTS) : \*Decadal and interdecadal climate changes over Circum-Okhotsk region, reconstructed by ice core analysis

11:30-13:00 Lunch

13:00-13:15 Hara, Toshihiko (ILTS) : Overview of the ILTS Research Project

13:15-14:55 General Discussion

14:55-15:00 Hara, Toshihiko (ILTS) : Closing Remarks