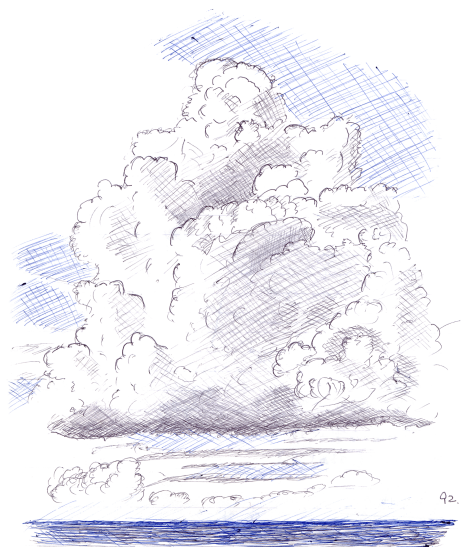


第二回 沼口敦さん記念シンポジウム

「水循環環境科学のアプローチ」



2006年3月29日～30日
東京大学駒場リサーチキャンパス
生産技術研究所A棟大会議室（3F）

主催：第二回 沼口敦さん記念シンポジウム実行委員会



幹事挨拶

本日はお忙しい中、第二回沼口敦さん記念シンポジウムにご参加いただき誠にありがとうございます。2002年7月に行われた第一回沼口敦さん記念シンポジウムでは、沼口さんと交流のあった多くの研究分野の研究者が集まり、沼口さんが目指したであろう新たな研究分野『水循環環境科学』をキーワードに、沼口さんが残した課題を再検討し、それを克服することを目指して開催されました。そして、広い視野をもって研究を行うことの重要性を我々に示してくれました。そのシンポジウムから3年半が経過し、時代は業績重視の競争社会がさらに加速し、広い視野で自分の研究を振り返る機会が少なくなっているように思われます。そこで本シンポジウムでは、自分自身が行っている研究を振り返り、もう一度広い視野で考え直しながらその位置づけを認識するとともに、現在進めている研究の発展性について分野を横断した形で考えるきっかけとなることを目指して開催することになりました。今回は、沼口さんとの交流の有無に関わらず、水循環に関わる研究に従事している第一線の若手および中堅研究者による24件の講演とパネルディスカッションを通じて、『水循環環境科学』の目指すべき方向性をよりはっきりと示すことを目的としています。以下のセッションを通じて、現在取り組んでいる未解決な課題に対して各研究分野が連携して、今後どのように立ち向かうべきかを、参加された会場の皆さんからのご意見を頂きながら議論していきたいと思います。参加者のみなさまの積極的な議論をお願いいたします。そして、本シンポジウムを通じて、既存分野の垣根を越えた交流、さらにはそこからシナジー効果が生み出されることを期待しています。

1. 気候システムにおける水
2. 大気から陸面へ、陸面から大気へのインパクト
3. ラグランジュ的水・物質循環
4. エアロゾル・放射・雲・降水
5. 水循環予測
6. 文理融合は可能か
7. パネルディスカッション ～目指すべき水循環環境科学とは～

2006年3月

第二回沼口敦さん記念シンポジウム実行委員会

◇ 講演プログラム

3月29日(水)

10:20 ～ 10:30 趣旨説明

10:30 ～ 12:00 セッション1 気候システムにおける水

- 気候形成・気候変動における動的な水の役割 ～大規模大気循環の視点から～
渡部雅浩（北海道大学・大学院地球環境科学研究院）
- 日本周辺海域における大気観測 ～中緯度大気海洋相互作用の理解に向けて～
谷本陽一（北海道大学・大学院地球環境科学研究院）
- GCM, 雲解像モデルにおける雲・放射場 ～ GCM におけるパラメタリゼーションの問題点のより明確な把握へ ～
對馬洋子（海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター）
- 雲解像モデル・LES における各種パラメータの確率密度分布 ～ GCM におけるパラメタリゼーションの改良を目指して ～
篠田太郎（名古屋大学・地球水循環研究センター）

12:00 ～ 13:30 昼休み

13:30 ～ 15:00 セッション2 大気から陸面へ、陸面から大気へのインパクト

- 衛星観測からみた大気－陸面相互作用
樋口篤志（千葉大学・環境リモートセンシング研究センター）
- チベット高原上の地表面の湿潤化による降水特性の変化
山田広幸（海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター）
- 湿潤域の短時間降雨予測における地表面加熱の重要性
田中賢治（京都大学・防災研究所）
- 陸域植生と大気境界層 ― 時空間スケール別にみた大気陸面相互作用 ―
檜山哲哉（名古屋大学・地球水循環研究センター）

15:00 ～ 15:20 休憩

15:20 ～ 16:50 セッション3 ラグランジュ的水・物質循環

- 質的視点からみた水循環研究
栗田直幸（海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター）
- アラビア海における表層への栄養塩供給過程
河宮未知生（海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター）
- 全球規模の化学物質の循環と輸送
須藤健悟（海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター）
- 熱帯対流圏界面領域における物質輸送・脱水過程について
藤原正智（北海道大学・大学院地球環境科学研究院）

3月30日(木)

09:00 ～ 10:30 セッション4 エアロゾル・放射・雲・降水

- 全球モデルによるエアロゾル間接効果の評価の現状と展望
竹村俊彦(九州大学・応用力学研究所)
- 非静力学雲モデルによる雲・降水過程の高解像度メソスケール計算の現状と展望
竹見哲也(東京工業大学・大学院総合理工学研究科)
- エアロゾルの雲特性への影響に関するモデリング研究
鈴木健太郎(東京大学・気候システム研究センター)
- 梅雨期の東シナ海上に形成される水蒸気前線の周辺における分野融合研究の可能性
茂木耕作(海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター)

10:30 ～ 10:45 休憩

10:45 ～ 12:15 セッション5 水循環予測

- 降水系の階層構造と集中豪雨の予測可能性
加藤輝之(気象研究所)
- ロスビー波束の碎波に伴う顕著現象の発生
榎本剛(海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター)
- 季節スケールの水循環の予測可能性
仲江川敏之(気象研究所)
- 地球温暖化に伴う水循環変化「予測」の信頼性
江守正多(国立環境研究所／地球環境フロンティア研究センター)

12:15 ～ 13:30 昼休み

13:30 ～ 15:00 セッション6 文理融合は可能か？

- 水循環環境科学における文理融合の可能性
鼎信次郎(総合地球環境学研究所／東京大学・生産技術研究所)
- 水源管理における地方自治体の役割について
遠藤崇浩(総合地球環境学研究所)
- 国際河川管理交渉におけるデータの役割
美留町奈穂(東京大学・大学院新領域創成科学研究科)
- 温暖化影響対策評価と文理融合
高橋潔(国立環境研究所)

15:00 ～ 15:20 休憩

15:20 ～ 16:20 パネルディスカッション ～目指すべき水循環環境科学とは～

16:20 ～ 16:30 閉会の言葉

※ 講演時間は質疑応答込みで20分です。

1. 気候システムにおける水

気候システムの形成・維持において、水はエネルギー輸送という形で重要な役割を担う。大気中の水の主たる供給源は海面であり、大気中での水-エネルギー変換に大きな役割を果たす現象はメソスケールの雲・降水システムである。しかし、海面からの水蒸気の供給過程やメソスケールの現象と、全球規模の大気循環の間には著しいスケールのギャップがあり、こうした異なるスケール間の相互作用の実態については未解明な点が多々ある。そこで、本セッションではマルチスケールと相互作用をキーワードとして、大気・海洋、および全球規模・メソスケール、それぞれの視点から最新の話題を提供し、水に関わる気候システム研究の今後についての議論を試みる。

コンビーナ（渡部雅浩・篠田太郎）

● 気候形成・気候変動における動的な水の役割 ～大規模大気循環の視点から～

渡部雅浩（北海道大学・大学院地球環境科学研究所）

気候システムにおいて、水は物質および熱の両側面で大気循環と密接に関わっている。しかし、前者を把握するための大気水収支などのアプローチには、後者の視点-すなわち相変化を介して水が循環を駆動する-が含まれていないことが多い。総合的な大気水循環の理解には、熱帯気象学の基本である、熱源として降水過程を捉えること、さらには、大気循環と熱源の相互作用を明らかにすることが不可欠である。このことを本講演の第一の主題としたい。例として、松野-Gill パターン、亜熱帯高気圧、中緯度大気海洋相互作用などを取り上げる。これらのトピックは全て大規模現象に関わるものであり、雲・降水の熱的効果はバルクに扱われる。しかし、個々の雲活動は大規模場のみで決まっているわけではなく、階層的な各種スケールの大気運動に伴って生じる。こうした多重スケールの現象を空間切断した系でどう表すかは、大気モデリングの本質的問題であり、本セッションの主なテーマでもある。そこで、これを第二の主題として、現在および今後の大気モデリングの方向について個人的意見を交えて議論してみたい。

● 日本周辺海域における大気観測 ～中緯度大気海洋相互作用の理解に向けて～

谷本陽一（北海道大学・大学院地球環境科学研究所）

東アジアにおける気候は北太平洋とユーラシア大陸の地理的条件によってもたらされるモンスーン気候に代表される。モンスーンに伴う大規模な大気循環は数千 km 以上のスケールでの海面と陸面の熱的コントラストが強く関わっていると言って良い。このような大規模スケールの現象に対し、日本周辺の海域は 100km から 1000km 程度のスケールで非常に変化に富んだ特徴を持っている。例えば、黒潮・黒潮続流や親潮といった流れの強い西岸境界流によって形成される海面水温フロント、オホーツク海における季節海水、さらには黄海・東シナ海の冬季に見られる特徴的な海面水温分布などがその代表として挙げられる。このような海洋学的な特徴が単に大気強制による海洋の応答であるのか、あるいは大気へ

再び影響を与えるポテンシャルを持つのかについて、それらを検証するための海洋上における大気観測の方向性を交えて議論したい。

● GCM, 雲解像モデルにおける雲・放射場 ～ GCM におけるパラメタリゼーションの問題点のより明確な把握へ ～

對馬洋子（海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター）

気候モデルを用いた温暖化予測における最大の不確定要因は雲であるといわれている。衛星データ、客観解析データと比較したとき、平均場で見ると、CCSR/NIES/FRCGC モデルの雲量分布、相対湿度分布は各国モデルと比べても悪くない。少し詳細に見ると、雲頂高度ごとの光学的厚さの頻度分布が、観測では薄い雲がより多いのに対し、モデルでは厚い雲がより多い傾向が見られる。

一方、大気上端での放射フラックス場を衛星データと比較すると、全体としては観測データをよく再現しているものの、日射の反射が低緯度で強く、地球放射も強めの傾向が見える。モデルの光学的厚さの分布のバイアスがこの放射フラックスの分布のバイアスと関係していると考えられる。両者がどのように関係していて、それが何に因っているのかについて解析し、発表する。

● 雲解像モデル・LES における各種パラメータの確率密度分布 ～ GCM におけるパラメタリゼーションの改良を目指して ～

篠田太郎（名古屋大学・地球水循環研究センター）

数値モデルを用いて様々な気象現象を表現しようとする場合、解像できるスケールの現象とサブグリッドスケールの現象に分けて考えていく必要がある。サブグリッドスケールの現象は、格子解像度よりもスケールの小さい現象であるために、パラメタライズして表現しなければならない。ここで、GCM において用いられているパラメタリゼーションの検証を行う際に、より小さなスケールの現象を取り扱うモデル（雲解像モデル、Large Eddy Simulation など）の結果を適用することは有効であると考えられる。

雲解像モデル CReSS を用いた日本周辺における日々のシミュレーションでは、台風、梅雨前線、メソ降水システムなどの現象の再現に成功している。また、CReSS を LES として用いた実験においては、大気境界層内の乾燥対流や積雲の発達の実験を再現している。本講演では、これらの結果を確率密度分布で表現した場合の統計的な特徴を提示し、これらの結果を用いた GCM におけるパラメタリゼーションの改良の可能性について議論したい。

2. 大気から陸面へ、陸面から大気へのインパクト

人々が暮らす陸上での水循環を理解することは、科学的側面のみならず、社会のニーズに答えを出すという観点から極めて重要な課題である。陸面における水循環は、多様性のある陸面状態と大気境界層を通じた相互作用で成り立ち、気候変動に伴う陸面水循環の応答を考えた際に現象理解は未だ不十分である。さらに、大気陸面相互作用という領域は気象学・水文学、その他関連学問の境界領域であり、観測（衛星も含む）・モデル間のスケールギャップが生じ易い。ここでは前セッション同様、マルチスケールと真の意味の「相互作用」的な研究確立を目指し、大気研究・陸面過程モデリング・観測（現地、衛星）の視点から、最新の話題・問題点を提起し、水をkeyとした大気陸面相互作用研究の今後に関する議論を試みる。

コンビーナ（樋口篤志）

● 衛星観測からみた大気－陸面相互作用

樋口篤志（千葉大学・環境リモートセンシング研究センター）

衛星観測による最大のメリットは均質性・反復性・連続性を持つことにある。衛星データの長期（AVHRR では 20 年以上）蓄積は近年の気候変動に応答する植生変動を global scale で示してくれる。このような応答特性も広い意味で見た場合、一つの大気－陸面相互作用である。加えて、TRMM の出現、その長期運用は“雨”の衛星気候学創成の可能性を示していると言える。ここでは、衛星観測で見た陸面過程モニタリングのみならず、GMS で代表される雲活動（日周期～季節内振動）に関する研究事例、TRMM で得られる降水システムの一連の研究成果を併せて示し、広い定義で見た“衛星観測から見た大気－陸面相互作用”について議論する。その際、地域による応答特性の違い、一般性についても俯瞰的に示せるか否かについても議論したい。

● チベット高原上の地表面の湿潤化による降水特性の変化

山田広幸（海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター）

降水をもたらす雲の特徴は、その環境場を支配する大規模大気循環に加え、地表面状態のような局地的要素の影響も受けるはずである。前者の役割は過去に多くの研究で注目されてきたが、後者については未解明な点が多い。その原因として、気象観測が精力的に行なわれてきた中緯度では総観規模擾乱の影響が強く、副次的となる局地的な役割があまり注目されてこなかったことが一因と思われる。ここでは、地域や環境条件を限定すれば、陸面状態と降水過程との関係を明瞭に示すことが可能であり、その観測データが雲・降水過程パラメタリゼーションの向上に貢献しうることを議論したい。その一例として、夏期のチベット高原上に発生する積乱雲の、降水特性に対する地表面状態の役割を調べた講演者の最近の研究を紹介する。これは、高原上で熱的低気圧が発生する環境条件においてのみ、土壤水分の影響が大気境界層を通じて雲・降水過程にまで及ぶというものである。またこ

のような相互作用が、チベット高原だけでなく熱帯・亜熱帯の半乾燥地域でも起きうる事も考察する。

● 湿潤域の短時間降雨予測における地表面加熱の重要性

田中賢治（京都大学・防災研究所）

日本のような湿潤域において、土壌水分等の地表面状態が降水に与える影響はこれまであまり議論されていない。本講演では、詳細な陸面過程モデルを組み込んだ非静力数値気象モデルを用いたいくつかの数値実験を通じて、夏季の対流性降雨の発生・発達に対する地表面加熱や土壌水分状態の影響について議論する。現実的な範囲の土壌水分量や人工排熱量の変化により降雨の位置や強度が変化するという結果を得た。これは日本の夏季のように豊富な水蒸気が周囲から供給される条件下においては陸面加熱による水蒸気収束の増加が降水の強化につながることを示唆するものである。このことから、陸面過程が軽視されがちな降水短期予報においても、詳細な陸面過程モデルを組み込むことに加え、適切な土壌水分量初期値や人工排熱量分布を与える必要性があることを指摘したい。

● 陸域植生と大気境界層 ― 時空間スケール別にみた大気陸面相互作用 ―

檜山哲哉（名古屋大学・地球水循環研究センター）

大気境界層は、大気陸面相互作用を研究する上で避けて通れない重要な研究対象である。従来の大気陸面相互作用の研究は、日変化など比較的短い時間スケールの、陸面から大気への一方通行的な研究がほとんどであった。この講演では、もう少し長い時間スケールでの大気陸面相互作用や、大気から陸面へのフィードバック機構についても展望したい。例えば、全球でのラジオゾンデ観測の特異点データを収集し、1964年から1998年までの35年間における全球平均の雲底高度と雲頂高度の経年変化（Chernykh et al., 2001）を概観すると、雲底高度は徐々に低下し、雲頂高度は逆に上昇してきている。演者は、雲底高度の低下は主に陸域植生の活性化に起因し、雲頂高度の上昇は蒸発散量の増加によってもたらされた大気水蒸気量の増加に起因していると考えている。実際に、陸域植生の活性化は過去約20年間の衛星リモートセンシング観測から明らかであり（Kawabata et al., 2001）、したがって葉量の増加や北半球高緯度での生育期間の増長は、陸域からの蒸発散量の増加を示唆する。本講演ではこれ以外にも幾つかの研究事例を紹介し、短く狭い時空間スケールでの観測は、現象のある一面を捉えるに過ぎないため、観測的研究と数値モデル的研究は相補的に進める必要があることを指摘したい。

3. ラグランジュ的水・物質循環

地表から大気へ供給された水は、様々なスケールの大気現象によって輸送され、再び降水として地表に戻るといった循環を繰り返しながら廻っている。このような相互作用を介する水の振る舞いは、気候変動に伴う水循環応答を予測するのに欠かせない知見であり、今後の発展が望まれている。このような視点で研究を行うには、オイラー的な視点で水循環を捉えるのではなく、水を質的に捕らえ、それを追跡することによって水の起源や輸送過程を解明しようとする、ラグランジュ的な視点で研究を行う必要がある。このセッションでは、ラグランジュ的な指標として用いられる化学トレーサを使った研究、およびその解析手法を紹介するとともに、今後の応用、発展性について議論する。

コンビーナ（栗田直幸・芳村圭）

● 質的視点からみた水循環研究

栗田直幸（海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター）

これまでの研究では、大気循環場の変動や地表面状態の変化に基づく降水量の変動、およびそのメカニズム解明を目的とした、原因と結果の因果関係を明らかにすることを目的として数多くの研究が行われてきている。この知見は、現在の社会から必要とされている気候変動に伴う降水量の変動を予測するためには欠かせない情報であるが、その因果関係を明らかにするためには、原因と結果を結ぶ『輸送過程』に着目して研究をさらに行う必要がある。この輸送過程に着目した研究は、化学天気予報の作成など、物質循環研究の中で盛んに用いられてきているが、水循環研究では、それを現実の観測によって検証することが困難な為に限定的にしか利用されていない。本講演では、水循環研究に応用可能な質的トレーサ、およびその応用例を紹介するとともに、そのなかから特に、水の安定および放射性同位体の利用について、チベット、シベリア域などで観測された結果を使って紹介するとともに、数値シミュレーション解析と組み合わせた解析手法の紹介を行う。

● アラビア海における表層への栄養塩供給過程

河宮未知生（海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター）

海洋中における生物活動を維持するのに必須である、硝酸、リン酸などの栄養塩は、光合成による有機化と分解による無機化を繰り返しながら移流・拡散により輸送されていく。沼口さんが大気大循環モデルに導入した仮想水トレーサの手法を海洋大循環・生態系結合モデルに応用することは、こうした生物過程による変質を経ながら移動する栄養塩の供給源を特定することができ、大気だけでなく海洋研究においても応用が可能である。本講演では、アラビア海のモデリングにこのようなトレーサを導入し、秋季の植物プランクトンの増殖に関する沿岸湧昇とエクマン湧昇の相対的寄与度を議論した結果を紹介する。さらに海洋表層から放出されるエアロゾル（DMS）と雲核形成の問題、降水が大気海洋間のCO₂交換に与える影響など、水循環科学と海洋物質循環・生態学との接点についても時間が許せば議論する。

● 全球規模の化学物質の循環と輸送

須藤健悟（海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター）

気候および水循環過程を評価・予測する際に大気中の各物質（気体成分・エアロゾル）の挙動は放射や雲核生成の物理化学過程を介して重要な意味を持つ。大気中の各物質の分布・収支を決定する最も重要な要因の一つは「輸送過程」であるが、この過程は大気中の水（水蒸気・雲）の挙動にも密接に関連する。水そのものは相変化があるために大気中に存在する水の輸送過程や起源を明らかにすることは容易ではない。しかしながら大気中の他の物質（化学・エアロゾル成分）に注目すれば大気中の輸送・起源の評価が比較的容易に行え、水循環過程の理解に繋げることも可能である。本講演では特に大気中の大規模な物質輸送過程に注目し、近年衛星観測やモデルシミュレーションにより明らかになりつつあるオゾンや一酸化炭素の全球分布の起源を探る試みを紹介する。さらに、化学トレーサによる気象場およびその変動の検証や同位体観測との連携などの応用課題についても考察する。

● 熱帯対流圏界面領域における物質輸送・脱水過程について

藤原正智（北海道大学・大学院地球環境科学研究院）

成層圏と対流圏の間の大気交換過程は、両圏の光化学したがって気候を決める重要な要素のひとつである。熱帯の対流圏界面領域では、対流圏大気は何らかの脱水過程を受けて成層圏へ侵入し、成層圏の乾燥状態が維持されている。この脱水過程に関する研究の歴史は古いのだが、未だに議論が収束していない。その理由は主に二つある。（１）この領域における鍵となる物質の観測が技術的に容易でないこと。（２）気温構造および輸送場を支配する力学過程が、大規模子午面循環から積乱雲まで幅広いスケールに渡り、さらに、放射過程の寄与も重要であること。本講演では、この対流圏界面領域における現場観測、測器開発、数値実験と、大気科学のあらゆる手法を用いながら、熱帯対流圏界面領域ひいては地球大気の輸送過程に関してより深い理解を目指す。

4. エアロゾル・放射・雲・降水

雲・降水系の振る舞いやその放射影響・気候影響は、雲核としてはたらくエアロゾルの効果と、メソスケールの組織化をもたらす力学・熱力学場の双方に密接に関連する。このことは概念としては知られているものの、これら二つの立場からの研究は、これまで別々の場で議論されることが多かった。本セッションでは、エアロゾル、雲物理過程、メソスケールの雲・降水システムについての現在の研究を紹介し、今後の研究においてエアロゾル－雲物理過程－降水システム－放射過程を結びつける議論を試みる。

コンビーナ(鈴木健太郎・篠田太郎)

● 全球モデルによるエアロゾル間接効果の評価の現状と展望

竹村俊彦(九州大学・応用力学研究所)

気候変動は地球規模の問題であるため、統合的な研究においては GCM が主要なツールとなっている。その中で、雲過程は地球放射収支を左右する重要な部分であるにもかかわらず、十分な表現をしているとは決して言えない。それは、エアロゾルを含めた雲微物理プロセスを表現するには全球モデルでは時空間分解能が不足していること、また、時空間分解能を満たそうとしても計算機資源が不足していることが一例として挙げられる。また、エアロゾルや雲の気候影響は、力学・熱学・放射・微物理等の過程が統合している自然現象であるが、個々の過程の研究者間の連携がこれまで充分に行われてきたとは言えない。本講演では、GCM を用いた雲エアロゾル相互作用の研究の現状と問題点を紹介し、様々なツールを用いて雲にアプローチしている研究を今後どのように GCM による気候変動研究へ活かすことができるかを模索する。

● 非静力学雲モデルによる雲・降水過程の高解像度メソスケール計算の現状と展望

竹見哲也(東京工業大学・大学院総合理工学研究科)

講演者はこれまで、非静力学雲モデルを用いて、熱帯海洋や砂漠における積雲対流の動態、熱帯や中緯度のメソ対流系の発達に及ぼす湿度プロファイルの影響、乱流粘性や数値粘性の効果について研究を進めてきた。砂漠での事例では、対流によるダストの輸送過程についても議論してきた。また、梅雨前線に伴う集中豪雨や台風による強風の発生メカニズムの研究も進めている。これらの計算では格子幅は $O(1\text{ km})$ の場合が主で、徐々に $O(100\text{ m})$ へと高解像度化しつつある。絶え間ない計算機資源の発展により、今後は $O(10\text{ m})$ の格子幅でのメソスケール計算が実現可能になるであろう。そのような超高解像度メソスケール計算をする際には、雲微物理過程、エアロゾル・化学過程、乱流過程といった微細過程のモデルの高度化とそれら素過程の融合に真剣に取り組まざるを得ないであろう。超高解像度計算時代における雲・降水・エアロゾル過程の融合研究の今後の展開について議論したい。

● エアロゾルの雲特性への影響に関するモデリング研究

鈴木健太郎（東京大学・気候システム研究センター）

近年の衛星観測の進歩によって、エアロゾルと雲の光学特性に関する全球規模での観測が可能になってきた。それに伴い、両者の相互作用についての知見も増えつつある。これらの観測データを定量的に解釈して雲の放射特性・降水生成特性に対するエアロゾルの影響を評価するためには数値モデリングが有効である。講演者は、雲の微物理的な粒子成長過程を詳細に表現できるビン法雲モデルの開発を進めており、それを用いて衛星観測で得られている雲の光学特性（有効半径・光学的厚さ）の再現実験を行っている。講演では、観測的に知られている事実である、雲の発達段階による光学特性の違いや、それに対するエアロゾルの影響について、モデル結果と衛星観測の比較から得られた知見を紹介する。さらに、今後は衛星観測による情報の飛躍的な増大が期待されることを鑑みて、雲微物理モデリングの立場から、エアロゾル・雲・降水に関する研究の発展性について考えてみたい。

● 梅雨期の東シナ海上に形成される水蒸気前線の周辺における分野融合研究の可能性

茂木耕作（海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター）

Moteki et al. (2004)は、梅雨期の東シナ海上において梅雨前線の南側にも前線構造が存在することを発見し、水蒸気前線と名付けた。水蒸気前線とは、東シナ海上において西側から流入する大陸性湿潤気塊と南西から流入する海洋性湿潤気塊の境界として形成されるものである。この前線を境界として、大陸性と海洋性の気塊がともに東シナ海上に存在しているとすれば、大陸起源か海洋起源かで大きく変わるエアロゾルの粒径や雲核濃度に伴う雲粒子半径の分布にもそのことを反映した特徴が現れている可能性がある。同じ現象を異なる研究分野の視点(ここではメソ気象現象に対するエアロゾルや放射の研究からみた視点を指す)から捉えて興味を持てるとすれば、分野の垣根を越えるきっかけの一つになると考えられる。

5. 水循環予測

水循環の理解を目的とする研究がこれまで数多く行なわれてきたが、本当に理解できたかどうかは予測ができるかどうかに端的に表れる。様々な時間スケールの水循環予測の現状と課題を概観・例示し、時間スケールが異なることによる問題の性質の違いを確認するとともにスケール横断によるシナジーの可能性を探る。

コンビーナ(江守正多)

● 降水系の階層構造と集中豪雨の予測可能性

加藤輝之（気象研究所）

日本付近で発生する集中豪雨の多くは、台風や熱雷にともなうものを除けば、線状降水帯によりもたらされる。その線状降水帯は複数の積乱雲により組織化したメソ対流系が複数並ぶことで形作られている。また、積乱雲には寿命があるのでメソ対流系の風上側で積乱雲が次々と発生しなければ（このことをバックビルディングと呼ぶ）、メソ対流系は維持できない。したがって、集中豪雨の発生をより正確に予想するためにはこのような降水系が持っている階層構造を数値モデルで再現する必要がある。そのためには積乱雲を解像し得る水平分解能～ 2 km 以下で実行できる雲解像非静力学モデルが必要不可欠となる。

しかし、雲解像非静力学モデルを持ってしても、必ずしも集中豪雨を予測することはできない。なぜなら、予測の可否はモデルの初期値に大きく依存するからである。日本付近では、集中豪雨を引き起こす下層の水蒸気は、ほとんどの場合観測が非常に少ない海上から流入するために、その領域でのモデルの初期値である客観解析の精度は相対的に良くない。精度向上のためにはどのようなことができるのかを考察する。

● ロスビー波束の砕波に伴う顕著現象の発生

榎本剛（海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター）

降水は局所性が強い現象であるが、より大きなスケールの現象とも無縁ではないことは、繰り返し強調されてきた。中緯度における大規模場は、時間的に変化の乏しい環境場としての大規模場ではなく、ダイナミックに変化する惑星スケールの現象としてとらえる必要がある。中緯度における顕著現象の発生には、ロスビー波束の砕波が重要な役割を果たしている。ロスビー波束は、しばしば総観規模擾乱を伴いながら、それよりも速い群速度で伝播する。とくに顕著な現象は、ロスビー波束が砕波する際に発生する。ロスビー波束は対流圏上層を伝播するが、南北に蛇行することにより下層では湿潤な空気を引き込み不安定を発生させる。この講演では、高解像度大気大循環モデルを用いた、いくつかの顕著現象のシミュレーションの事例を引きながら、大規模場と顕著現象の相互作用について、そのメカニズムと予測可能性について議論したい。

● 季節スケールの水循環の予測可能性

仲江川敏之（気象研究所）

中期予報では、初期値の微小振幅が有限振幅へ遷移する辺りまでのリードタイム（2週間程度）の現象を予測しており、カオスの特徴である初期予測可能性の御利益がある範囲である。しかし、数ヶ月のリードタイムを要求される長期予測では、カオスのもう一方の側面、初期値敏感性のため、決定論的な予測の意味はなくなり確率論的な予測しか意味を持たなくなる。このことは、予測の起源が、予測開始時の大気状態ではなく、主に持続性の高い現象である海面水温（SST）や陸面状態などの下部境界条件であること、そして予測対象が数ヶ月平均場に現れる定常ロスビー波の生成・伝播などであることを意味している。長期予測では、SSTの年々変動に応答した熱帯大気の非断熱加熱とそれによって生成・伝播する定常ロスビー波の応答がモデルの再現性において最も重要となる。アンサンブル手法は、これらの現象予測を確率論的に実現する上で無くてはならない手法である。予測結果としては、確率密度関数自体が確率論的な意味での予測値であるが、不偏推定値としてのアンサンブル平均と、予測誤差指標としてのスプレッドが用いられる。水循環の何が予測できて何が予測できないのかを、アンサンブル手法を用いて考察する。

● 地球温暖化に伴う水循環変化「予測」の信頼性

江守正多（国立環境研究所／地球環境フロンティア研究センター）

将来 100 年程度の温室効果ガス濃度シナリオを与えた気候モデル実験が何らかの意味で「予測」と呼べるとすれば、それが気象の予測と最も違う点は、予測と答え合わせを何度も繰り返して、予測システムの精度を評価したり改善したりすることが不可能、ということである。しかも、現状では予測結果はモデルによって大きくばらつく。従って、予測された結果の信頼性の評価は、より間接的な評価を積み重ねることによって得る以外に無い。例えば、予測結果のうち信頼性が高い部分とは、複数のモデル結果で一致した傾向が見える、関連する過去の変動をモデルがよく再現できる、物理的・合理的に変化が説明できる、といった専門家判断によるいくつかの条件を満たすようなものである。特に最後の点、予測結果を合理的に説明し理解することは、予測結果の信頼性向上をもたらすと同時に、幅広い研究者が知的興味を持って取り組める「気候力学の楽しい応用問題」であることをアピールしたい。

6. 文理融合は可能か？

水は人間生存に必要な不可欠なものであり、水の管理は古くから人間社会の重要な関心事項であった。このため水に関する様々な思想、研究が蓄積されてきたが、水を扱う学問領域は細分化され続け、特に文と理との断絶は大きくなった。これに対し近頃、各領域を統合化した水研究を進めることがあたかも最大の善であるかのような風潮が現れ始めた。細分化だけに向かう方向性は是正せねばならないだろうが、どのような融合なら成功するのかとの指針や例が得られているわけでもないにもかかわらずである。そこでここでは試みに水源管理や国際河川管理、地球温暖化影響評価といった事例を用いて、果たして社会科学と自然科学の相互補完が可能かどうか考察したい。

コンビーナ（鼎信次郎・遠藤崇浩）

● 水循環環境科学における文理融合の可能性

鼎信次郎（総合地球環境学研究所／東京大学・生産技術研究所）

このセッションは「文理」という言葉を掲げているという点で他のセッションと異質なものである。最近、文理融合という言葉を目にする機会があるが、その内容は必ずしも明確ではなく、しかも内容が明確にならないまま、概念だけが一人歩きしている感すらある。そこでこのセッションでは試みに、なんらかの形で「文理融合」に関わっている、関わらざるを得ない我々世代（の一部）が、どういう気持ちで「文理融合」を捉えているか、また、もし実践している（せねばならない）のならどうしているのか、皆のいる場でディスカッションしてみたい。それを通して、我々の分野の社会での立場を明らかにしていくことは、将来の水循環科学の像を考える上で無駄なことではないだろう。この報告では、このような概論や動機と、自分自身の考えを皆さんに伝え、残りの三人にバトンタッチしたい。

● 水源管理における地方自治体の役割について

遠藤崇浩（総合地球環境学研究所）

これまで森林の機能といえば「木材の供給源」という側面が重視されてきたが、ここ最近になり水源涵養、魚付林効果、二酸化炭素吸収といったいわゆる「公益的機能」の側面に注目が集まるようになった。そんななか一連の森林法改正で、森林を管理する上で市町村の役割が強化され、森林の「公益的機能」の維持を目的とした市町村の取り組みが活発化してきている。また地方分権一括法の成立に伴う法定外目的税の導入により、県レベルでも環境税という新たな政策手段が採用され始めている。この報告では森林のもつ諸機能のうちとりわけ水源涵養機能に着眼し、森林整備協定や水源涵養税といった地方政府主導型の水源管理政策について、そのしくみ、長所、短所などを検討する。

● 国際河川管理交渉におけるデータの役割

美留町奈穂（東京大学・大学院新領域創成科学研究科）

国際河川の水資源を管理する場合、流域諸国間の武力対立は珍しい。しかし、多くの二国間・多国間交渉は行き詰まりを経験し、協調的な管理に関する合意は実現しづらい。本研究では、”win win”状況をつくりだす交渉には、水文データの正確さが要求される場面だけでなく、時として、曖昧なデータが対話を促進させる場面が存在すると考える。アジア・ガンジス川において、インドとネパール間では水資源の衡平な利用を裏付ける正確なデータに関して対立している。一方、アフリカ・オレンジ川では、南アフリカの水需要量の変化のデータが曖昧なままレソトと水移送事業で協調している。二つの事例の比較から、データがどのように交渉のツールとして利用されるかを分析する。

● 温暖化影響対策評価と文理融合

高橋潔（国立環境研究所）

演者の所属する国立環境研究所は、環境の保全に関する調査・研究を行うことにより科学的知見を得、その知識の普及を通じて環境の保全を図ることを目的として設立されている。そこで働く個々の研究者は、各々理系・文系と分けることが出来る学問的背景を持っているが、上記の設立目的に沿い、目前にある一筋縄ではいかない問題の解決に資するならば、自身の学問的背景をはみ出して研究を進めることを阻害しない雰囲気がある、といえるかもしれない。

本報告では、具体例として、演者が携わっている温暖化影響対策評価の研究を取り上げ、主として自然科学的手法を用いる気候変化予測・影響予測と、主として社会科学的手法を用いる対策・政策評価の、両面からのアプローチによる問題解決に向けた取り組みについて紹介する。

7. パネルディスカッション ～目指すべき水循環環境科学とは～

パネリスト

沖大幹（東京大学・生産技術研究所）

桑形恒男（農業環境技術研究所）

佐藤正樹（東京大学・気候システム研究センター）

松本淳（東京大学・大学院理学研究科）

山中康裕（北海道大学・大学院地球環境科学研究所）

鼎信次郎（総合地球環境学研究所／東京大学・生産技術研究所）

栗田直幸（海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター）

司会

江守正多（国立環境研究所／地球環境フロンティア研究センター）

表紙の図・写真について

上段左端：MTSAT による赤外雲画像。雲・降水システムは大気中の様々な相互作用の結果として発生する。（提供：樋口篤志）

上段左から 2 番目：客観解析データ内の水蒸気量に色を付ける解析手法によって水蒸気の起源を推定する。（提供：芳村圭）

上段左から 3 番目：植生分布は気温，降水量，人為的要因の結果により規定される。2000 年 NDVI 分布。（提供：樋口篤志）

上段右端：GCM による温暖化実験の結果。温暖化の程度は地域により異なる。（提供：江守正多）

中段左：TOGA-COARE 観測時に熱帯海洋上で沼口さんによりスケッチされた積雲。

中断右：熱帯海洋上で観測された積雲。（提供：篠田太郎）

下段左：気候変動による砂漠化が懸念されている。（提供：中尾正義氏（総合地球環境学研究所））

下段中央：EGAT タワーより撮影された雨季初旬のモンスーン林の様子。（提供：樋口篤志）

下段右：気候変動による集中豪雨の増加も懸念されている。2004 年福井豪雨による被害例。（提供：相馬一義氏（京都大学防災研究所））

本プログラムの印刷はシンポジウムテーマと関連する地球研 5-1 プロジェクトの援助によって行いました。

第二回沼口敦さん記念シンポジウム実行委員会

栗田直幸：海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター

江守正多：国立環境研究所／地球環境フロンティア研究センター

遠藤崇浩：総合地球環境学研究所

鼎信次郎：総合地球環境学研究所／東京大学・生産技術研究所

篠田太郎：名古屋大学・地球水循環研究センター

鈴木健太郎：東京大学・気候システム研究センター

樋口篤志：千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

福富慶樹：海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター

芳村圭：東京大学・生産技術研究所

渡部雅浩：北海道大学・大学院地球環境科学研究所

問い合わせ先：numasym2@hydro.iis.u-tokyo.ac.jp

URL: <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/numasym2/>