

16. グローバル・グレイシオロジー、特に広域積雪域の役割について

(主任調査員) 樋口 敬二

(調査員) 安成 哲三

(1) 調査課題の意義

最近、Global Hydrologyという言葉がよく聞かれるようになった。

考えてみると、地球科学において、名実ともにglobalな視点が確立したのは、そう古いことではない。そこに至る経過は、永田武・福島直編「地球観測百年」(1983)に述べられているとおりであるが、global、すなわち「全地球的な地球科学」が成立したのは、やはり1957年～1958年に実施された国際地球観測年(IGY)によるといってよいであろう。

ロケット、人工衛星という画期的な観測手段の実用化とともに、南極を含む地球全域にわたる総合観測の展開によって、はじめて「全地球の物理学的総合理解」(永田武)が可能となり、globalという視点が確立したのである。

ことに、気象、海洋、雪氷、地磁気、重力、地震、電離層、宇宙線、極光夜光などの分野において、globalな把握と理解が進んだ。

これらの諸分野に比較すると、Hydrology(水文学)という分野は、地球の表層に存在する水、すなわち河川、湖沼、地下水、積雪、氷河、永久凍土等を研究の対象としているために、海洋、大気、陸地をめぐる「水循環」という概念は早くから成立し、水文学のいわば中心概念となっていたにもかかわらず、水循環にかかわる素過程の研究は進んでも、これらの全地球的な物理学的総合理解に達するためのglobalな視点の確立は、他分野にくらべると遅かったといえる。

それが最近、global hydrologyという言葉がよく聞かれるようになったのは、やっと水文学にも、globalな視点が確立しつつあることを示している。

たとえば、IUGG(国際測地学地球物理学連合)のIAHS(国際水文科学協会)の第2回学術総会(1976年7月2日～10日、ブタペスト)の開会に際して、アメリカのProf. P. S. Eaglesonは、“Frontiers in Hydrology-The Emergence of the Global Scale Hydrology”という題のもとに記念講演を行い、global hydrological modelの重要性を述べた。

ただ、雪氷現象については、すでにIGY以来、globalな観測、解析等は進められてきたが、global scale hydrologyにおいて雪氷がどのような役割りを果しているか、を考えなおしてみると、それを論ずるに足るような観測、解析、研究は少なく、今後の重要な課題であると考えられる。

そのために、UNESCOの事業であるIHP(International Hydrological Programme;国際水文学計画)の第4期計画(1990～1995)のResearch Sub-Programmeの主要研究課題の一つ

として、“The role of snow and ice in global water cycle”（全地球的な水循環における雪氷の役割）があげられている。

そこで、このような視点からみた雪氷研究を、Global Glaciology（全地球的な雪氷学）と名づけ、地球系科学技術調査課題の一つとして取り上げたのである。

ただし、雪氷現象は、積雪、氷河、大陸氷床、海氷、永久凍土などと多様であり、かつ研究の手法も観測、解析、モデル化のすべてにわたっている。

そのため、本調査においては、雪氷現象の中でも、特にglobal water cycleにおいて重要と考えられるlarge scale snow cover（広域積雪域）に焦点をしばって、検討を進めることにする。

(2) 研究活動の現状

ここで、large scale snow coverというのは、ユーラシア大陸、北アメリカ大陸のような大陸の広域にわたる積雪域を指しており、これがglobal water cycleにおいて重要な役割を果たしていることが明らかになったのは、Hahn and Shukla (1976)による「ユーラシア大陸の積雪域とインドのモンスーン降雨との相関」という研究であった。

彼らは、人工衛星観測によって得られた北緯50度以北のユーラシア大陸における冬期積雪域の面積の変動とインドにおける夏期降雨量の面積平均値の変動とを比較し、それらが図1のように見事な逆相関であることを示したのである。

このようにユーラシア大陸の積雪域が大きい冬の次の夏にはインドのモンスーン降雨量が少ない（および、その逆）という事実は、大規模雪氷現象が大規模降水現象に影響を与えていることを意味しており、global hydrologyあるいはglobal glaciologyを推進するきっかけを与えたものであった。

それ以来、large scale snow coverに関する研究が進められたが、その展望と課題については、1985年10月、アメリカで、WMO、NSF、NOAA、IAHS-ICSU（国際雪氷委員会）、アメリカ・エネルギー省などの共催による“Snowwatch 1985: Workshop on CO₂/Snow Interaction”で討議され、その報告書“Snowwatch '85”（1986）によくまとめられている。

その研究テーマは、次のとおりである。

- 積雪域の気候への影響
- 地上観測所のデータ
- 人工衛星データベース
- リモート・センシング
- 積雪域のモデリング

それぞれのテーマについて4～8の論文が収められており、その題目は巻末の表2に示すと

おりであるが、その中から興味あるものを選び、global glaciology に関連する研究の現況を紹介する。

まず、Barry によれば、積雪域のデータは図2に示すような流れになっており、地上観測、人工衛星および航空機によるリモートセンシングによって積雪域観測の生データが得られる。

このうち、現在、もっとも有力な手段となっているのは人工衛星による観測であり、その発展についてMatsonは、“NOAA Northern Hemisphere Satellite-derived Snow Cover Data Base”の発展をつぎのように区分している。

まず、1974年以前の「暗黒の時代」である。それまで人工衛星のデータによる積雪域の分布図は1966年以来存在していたにもかかわらず、利用されていなかった。ところが、1974年にKukla and Kuklaが人工衛星のデータから北半球の積雪域の総面積をもとめ、その変動傾向を調べて、1971年から1972年にかけて北半球の積雪面積が急増していることを見出し、1972年の異常気象との関連を指摘して、注目を集めた。

このKuklaらの報告を契機として、人工衛星による積雪域の研究は急速に発展し、1974年から「発見の時代」に入る。この時代は、人工衛星データセット解析のマニュアル化、データセットにもとづく気候学的研究などが進められた。

つぎに、1980年代になると、「啓蒙の時代」となり、この時代には数値化されたデータセットがいろいろ作成された。その一例として、1ヶ月のうちの何週間にわたって地上に積雪が存在していたかを人工衛星データによって北半球全域についてもとめた頻度分布図、1985年3月の場合、を図3に示す。

この「啓蒙の時代」には、人工衛星による積雪域観測の限界、たとえば、持続的な雲の分布や繁った森林の影響などが検討された。

そして、1990年には「前進の時代」に入ると期待されている。というのは、マイクロ波による観測が実施され、雲をとおして積雪域の観測が可能となるからである。

ところで、さきに述べたように、Kuklaらは1971年から72年にかけて北半球の積雪域面積が急増したことを指摘して注目を集めたが、Ropelewskiが人工衛星と地上観測にもとづいて作成した積雪域面積の月毎のリアルタイム観測によれば、北半球全体についてその後の傾向は、図4のようになり、1985年までの長期傾向として、北半球の積雪域総面積は減少の傾向がみとめられる。

つぎに、このような積雪域の変動が気候変動と関係しているのは、さきに述べたようにユーラシア大陸の積雪域面積とインドのモンスーンの降雨量とが逆相関にあるといった事実によって示されているが、そのほか積雪域面積と気温との関係についても解析が行われており、北アメリカ大陸では、冬の積雪域面積と冬の気温との間に相関がよいのに対して、ユーラシア大陸では秋の積雪域面積とそれに続く冬の気温と相関がよい、といった結果が得られている。

つぎに、北半球における積雪域と大気大循環との関係については、気候モデルによる数値シミュレーションによって研究が行われている。Broccoliは、GFDL気候モデルをもちいて、北半球の積雪域総面積の季節変化を、グリッド・サイズが緯度 4.5° ×経度 7.5° 、緯度 2.25° ×経度 3.75° の二つの分解能の場合について計算しているが、結果は図5のように、実測値は両者の間にある。また、積雪の分布については、図6に2月の例を示すように、低分解能モデルの結果が実測に近いが、ユーラシア大陸の南部では大きく違っている。

一方、Schlesingerは、大気と海洋を結合したOSU大気大循環モデルによって、大気中の二酸化炭素が増加した場合に起る気候変化において積雪域はどのような役割りを果たすか、を評価するために数値シミュレーションを行った。

二酸化炭素の増加によって大気の温度が上昇する場合、積雪域の変化として、増減二つの可能性があり、それぞれによって効果が違う。

まず、積雪域の縮小で、これは大気の昇温によって融雪量が増えるためである。第二は、積雪域の拡大で、これは大気の昇温によって大気中の水蒸気量が増加し、降雪量が増えるためである。

このように、積雪域が変化する場合、次の三つの役割りが考えられる。

第一は、地表のアルベードの変化である。積雪域が縮小すれば、アルベードが小さくなって、日射の吸収が増え、大気の昇温を加速する、すなわちpositive feedbackの効果がある。これに対して、積雪域が拡大すれば、逆の過程で、昇温を減速するnegative feedbackが考えられる。

第二は、地表の水文学に対する効果である。大気の昇温によって融雪量が多くなると、北半球の中緯度では、冬期の季節性積雪域が春期に早くなくなり、夏期に乾燥化が起ることが推定される。

第三は、南極氷床、グリーンランド氷床では、降雪量の増加によって氷量が増え、海水面の変動に影響を与える可能性がある。

以上のような点を明らかにするために、Schlesingerは、大気・海洋結合モデルによって、大気中の二酸化炭素が現在の2倍になった場合の数値シミュレーションを行ったが、その結果は、表1のとおりである。これによれば、大気の昇温に伴って積雪域は減少しており、昇温を加速するpositive feedbackの効果となっている。特に北半球において温度の上昇量が大きいのは、積雪域の効果と考えられる。

一方、積雪域の総量が南半球において増加しているのは、図7に12月～2月の降雪量の変化を示すように、南極氷床において降雪量が増加するためである。

以上、主として“Snowwatch '85”にもとづいて、広域積雪域の役割りに関する研究の現状を紹介したが、わが国においても最近、解析、モデリングなどによって広域積雪域と大気循環場

の関係について研究が進められており、特にユーラシア大陸の広域積雪域の役割りについて研究者の関心が深く、今後大いに研究が進むものと期待される。

(3) 予想される展開

前節で述べたように、広域積雪域は、全地球的な水循環、大気大循環、気候変動において重要な役割りを果しているが、その研究に関する今後の展望と課題については、解析、観測モデル研究に関する課題をあげておく。

① 解析

i) 大気・雪氷相互作用

- 広域に積雪をもたらす大気循環場、および海水分布の特徴
- 広域積雪域がひき続く春、夏の気候循環場に与える影響（いつ、どこにある広域積雪域がいつ、どこの大気状態に影響を与えるか、なかでも北アメリカ東岸と中央アジア・チベットの積雪域の役割りについての比較研究が重要と考えられる。）

ii) 水収支に対する積雪域の影響

- 積雪の融解→浸透→土壌水分の過程が気候に与える影響
- 積雪域の融雪期における蒸発-貯溜-流出の比率のglobalな分布（たとえば、鬼頭、時岡のモデル研究によるとチベットにおけるこの比率の見積りによって、ユーラシア大陸の積雪域がモンスーンに与える影響の評価が変わる。）

② 観測

- 人工衛星によって観測した積雪域と地上で観測した積雪域とを比較して、reasonableで定量的な積雪域を算定する方法と体制の確立
- マイクロ波の利用などによって、人工衛星によって積雪深、又は積雪水量をもとめる技術の開発
- 高山地域における大気・雪氷相互作用に関する総合広域観測の実施（たとえば、チベット高原の積雪域分布と熱収支の季節変化に関する観測）

③ モデル研究

- 大気大循環モデルによるユーラシア大陸の積雪域と海水域が北半球の大気循環場に与える効果の評価
- 地表面における融雪水のゆくえ（蒸発、貯溜、流出など）が水循環、植生にどのような効果を与えるか、またそれらを通じて大気循環場にどのような影響を与えているかの評価
- 冬期の積雪域が次の夏の気候循環場にどのような影響を与えるか、というような季節サイクルを考慮した熱平衡モデルの開発、およびそれをもちいての積雪域の役割りの評価

- ・積雪分布および河川流出量の観測
 - ・係留気球によるプラネタリー境界層の観測
- (主な観測データは、アルゴス・システムにより、人工衛星を經由して、自動収録される)

④ チベット高原周辺の主要河川における流量観測

地 点 : 約5地点
 期 間 : 10月-翌年10月末(13カ月)
 観測項目 : 総ての水文学的観測、酸素同位体比などの地球化学的観測

⑤ SPOT衛星によるユーラシア大陸の雪氷分布およびアルベードの観測

期 間 : 5年間(1回/3日)
 処 理 : 画像処理システムにより、ユーラシア大陸(チベット高原域を含む)の雪氷分布とアルベード分布の季節変化を算定する。

⑥ DSMP衛星によるユーラシア大陸の積雪深分布の観測

期 間 : 5年間(1回/1日)
 処 理 : マイクロウェーブ放射計によるデータと、現地観測データを用いて、雪水当量測定のアロリズムを確立する。

⑦ NOAAおよびINSAT 衛星によるチベット高原域の放射収支の観測

期 間 : 5年間(2回/1日)
 処 理 : 可視域と赤外域のデータにより、チベット高原上空の大気放射収支の季節変化を算定する。

2) 研究の規模

上記の観測計画の内、①と②は、主に各国の気象・水文局との国際共同事業として行われねばならず、WMO(世界気象機構)やUNESCO水科学部の協力が必要である。ここでは、特に日本と中国(及び関連各国)との共同研究として推進可能な、③から⑦の計画についての、規模を述べる。

A. 大気-雪氷相互作用の気象学的、水文学的観測(③と④)

必要人員:	研究者	延べ40人
	観測協力者	延べ300人
施 設:	30m観測鉄塔	2基
	観測棟・住居棟	各2戸
	水文観測施設	5箇所

予 算: 5億円(5年間)

B. 大気-雪氷相互作用の人工衛星による観測(⑤、⑥、⑦)

昭和62年度には、以上の諸点を検討して、焦点をしぼったり、新たな課題を加えたりして、研究推進方策、研究推進にあたって留意すべき問題点などを以下に述べる。

(4) 研究推進方策

1) 研究の方法

チベット高原域における大気-雪氷相互作用の観測的研究 (SIHMAP)
(Snow and Ice in High Mountain Area Project)

(3)で述べた研究課題の内でも、ユーラシア大陸での積雪分布の拡大、縮小が、北半球の季節サイクルの中で、どのような役割を果たしているかは、北半球の大気循環の変動を理解する上で非常に重要である。とりわけ、ユーラシア大陸の風下側に位置する日本列島は、冬の季節風による日本海側の降雪や、夏の梅雨前線の活動が、このユーラシア大陸上での積雪分布の変動に、直接的間接的に支配されている可能性が高い。また、夏のアジアモンスーンの年々変動は、前の冬の積雪面積の変動に大きく支配されていることが既に指摘されている。特にチベット高原での積雪分布の変動は、大気への影響が大きいことが、いくつかの予備的な観測的理論的研究によって示唆されているが、厳しい自然条件と遠隔地のため、詳しい観測的、理論的な研究は、まだなされていない。この場合に重要な物理過程は、積雪のアルベドだけではなく、融雪の土壌水分に与える影響や融雪期における蒸発-貯留-流出の比率などの、水文学的過程も重要であると思われる。ここでは、チベット高原におけるこれらの気象学的、水文学的過程が北半球の大気大循環に与える影響を、人工衛星や高度の地上観測システムを駆使して、長期間にわたり定量的に評価する観測的研究を提案する。

① チベット高原域 (中国、インド、ネパール領域) における地上気象、水文学的観測 (簡単な熱収支、水収支観測)

地 点 : 約20地点 (図参照)
期 間 : 10月-翌年10月末 (13カ月)
観測項目 : 総ての地上気象要素、水文学的要素

② チベット高原域における高層気象観測網の強化

地 点 : 約10地点 (図参照)
期 間 : 10月-翌年10月末 (13カ月)
観測項目 : WMO規定による高層気象観測 (1日2回)

③ チベット高原特別観測地区 (Study Area) における大気-雪氷相互作用の観測

地 点 : 2地点 (西部と東部各1地点) 10km×10kmの領域 (図参照)
期 間 : 10月-翌年10月末 (13カ月)
観測項目 : ・30m鉄塔による熱収支、水収支の直接測定

また、研究対象地域が幾つかの国にまたがること、目的がチベット高原（ユーラシア大陸）のグローバルな役割を評価することにあることを考慮すると、大気科学分野でこれまでであった MONEX（モンスーン観測計画）や、ALPEX（アルプス観測計画）と関係づけたり、水文科学分野の IHP（国際水文科学計画）、OHP（水文科学の実践計画）において国際共同研究事業として位置づける必要があるかもしれない。

主な参考文献

- Hahn, D. G. and J. Shukla, 1976: An Apparent Relationship between Eurasian Snow Cover and Indian Monsoon Rainfall, *Journal of the Atmospheric Sciences*, volume 33, 2461-2462.
- Kukla, G. and H. J. Kukla, 1974: Increased Surface Albedo in the Northern Hemisphere, *Science* vol. 18, 239-253.
- 永田武・福島直編 1983: 「地球観測百年」、東京大学出版会。
- World Data Center A for Glaciology (Snow and Ice), 1986: "Snowwatch '85", *Glaciological Data*.

必要人員： 研究者 延べ10人

研究協力者 延べ20人

施設： 衛星資料解析センター（既存の施設を利用）

予算： 1億円（5年間）

3) 研究推進手順

1. 中国科学院及び中国国家気象局と提携し、関連する研究機関の研究者と、観測計画を検討する。関連する他の国とも、同様の交渉を行う。この為に、約2年間を必要とする。現地での予備調査もこの期間に行う。
2. 必要な観測機材、及び周辺機器、資材の調達と輸送を行う。この為に、約半年が必要である。機材のテストもこの期間に行う。又、衛星データの購入、受信も開始し、データ解析のテストも行う。
3. 観測施設の設置と、観測準備を行う。
この為に、約3ヶ月が必要である。衛星データの解析もルーチンとして開始する。
4. 本観測を開始する。観測は、13ヶ月継続して行う。この間、研究者、協力者は、1-3ヶ月交替で、観測研究に従事する。
5. 観測を終了し、観測データの解析作業を、共同で行う。解析されたデータは、磁気テープやディスクに保管し、データベース化する。この為に、約1年が必要である。衛星データの解析は、引き続き行う。
6. 解析されたデータにより、チベット高原の大気-雪氷相互作用の実態を明らかにする。得られたデータに基づく相互作用のパラメタリゼーションを用いて、大気大循環モデルによる再現も行う。

(5) 研究推進にあたっての留意すべき問題点

この研究の舞台となるチベット高原は、その大部分の領域が中国領土内であるため、中国との完全な共同研究とならなければいけない。そのためには、中国政府および関係省庁、研究機関の全面的協力が必要である。特に、中国科学院傘下の幾つかの研究所から研究者、研究協力者がどの程度参加してもらえるか、現地での施設建設、維持に、どの程度協力してもらえるかが、研究計画の重要なキーポイントである。そのためには、グローバルな気候システムにおけるチベット高原の役割の重要性を、中国をはじめ関係各国に認識してもらう努力と共に、チベット高原における気象学・水文学のローカルな問題（例えば、水資源としてのチベット高原の雪氷域の評価など）に対する協力研究事業という視点も重要であろう。

わが国の研究体制としては、大学の研究者だけではなく、研究観測項目の①と②、および⑤、⑥、⑦にもあるように、気象庁や、他の官庁の研究者も加わった研究推進組織が必要であろう。

CONTENTS

	Page
FOREWORD	v
PREFACE	vii
SNOW WATCH '85 (University of Maryland, 28-30 OCTOBER 1985)	
RECOMMENDATIONS	1
PARTICIPANTS	19
Climate Impact of Snow	
Snow Cover, Cyclogenesis and Cyclone Trajectories - J. Walsh	23
The Relationship between Snow Cover and Atmospheric Thermal and Circulation Anomalies - K.F. Dewey and R. Heim, Jr.	37
Relationships between Snow Cover and Temperature in the Lower Troposphere, General Circulation in East Asia and Precipitation in China - Z. Zhao and S. Wang	55
Progression of Regional Snow Melt - D.A. Robinson	63
Soot from Arctic Haze: Radiation Effects on the Arctic Snowpack - S.G. Warren and A.D. Clarke	73
Ground Station Data	
The Snow Cover Record in Eurasia - J. Foster	79
Distribution of Snow Cover in China - P. Li	89
Snow Surveying in Canada - B. Goodison	97
Satellite Data Bases	
Snow Cover in Real Time Climate Monitoring - G.F. Ropelewski	105
Northern Hemisphere Snow and Ice Chart of NOAA/NESDIS - T. Baldwin	109
NOAA Satellite-Derived Snow Cover Data Base: Past, Present and Future - M. Matson	115
Joint Ice Center Global Sea Ice Digital Data - C.E. Gross	125
Remote Sensing	
Snow Cover Data: Status and Future Prospects - R.G. Barry	127
Comparison of Northern Hemisphere Snow Cover Data Sets - A. Robock and J. Scialdone	141
Influence of Snow Structure Variability on Global Snow Depth Measurement Using Microwave Radiometry - D.K. Hall	161
Retrieval of Snow Water Equivalent from Nimbus-7 SMMR Data - M. Hallikainen and P. Jolma	173
Nimbus-7 SMMR Snow Cover Data - A.T.C. Chang	181
Snow Cover Monitoring using Microwave Radiometry - N. Grody	189
Remote Sensing of Snow Properties in Mountainous Terrain - J. Dozier	193
Remote Sensing of Snow Cover over the Carpathian Watersheds - H. Grumazescu	205

Snow Cover Modeling

Effects of Snow Cover and Tropical Forcing on Mid-Latitude Monthly Mean Circulation - A. Robock and J.W. Tauss 207

Parameterization of Snow Albedo for Climate Models - S. Marshall and S.G. Warren 215

Modelling of a Seasonal Snowcover - E.M. Morris 225

Characteristics of Seasonal Snow Cover as Simulated by GFDL Climate Models - A. Broccoli 241

CO₂-Induced Changes in Seasonal Snow Cover Simulated by the OSU Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model - M. Schlesinger 249

ACRONYMS and ABBREVIATIONS 271

NOTES 273

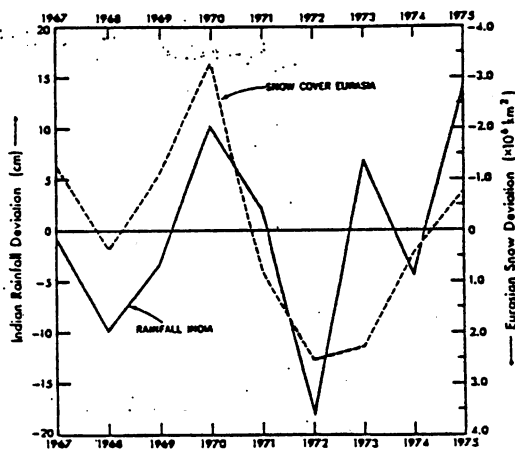
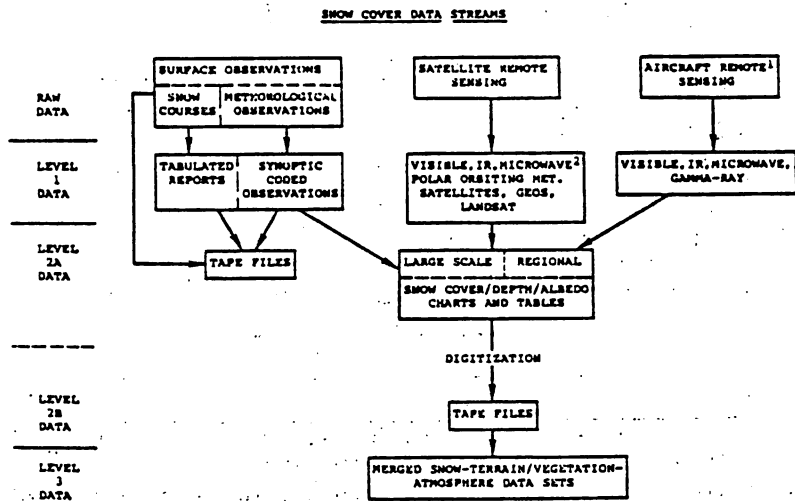


FIG. 1. Graphs of year-to-year variation of winter snow cover departures over Eurasia south of 52°N, and the corresponding variation of summertime area mean rainfall departure for India.

☒ 1 (Hahn and Shukla, 1976)



¹ Primarily in a research mode, or operational at the local/regional scale.
² The microwave is used primarily in a research mode.

Figure 1. Snow cover data streams.

☒ 2 (Barry, "Snowwatch '85")

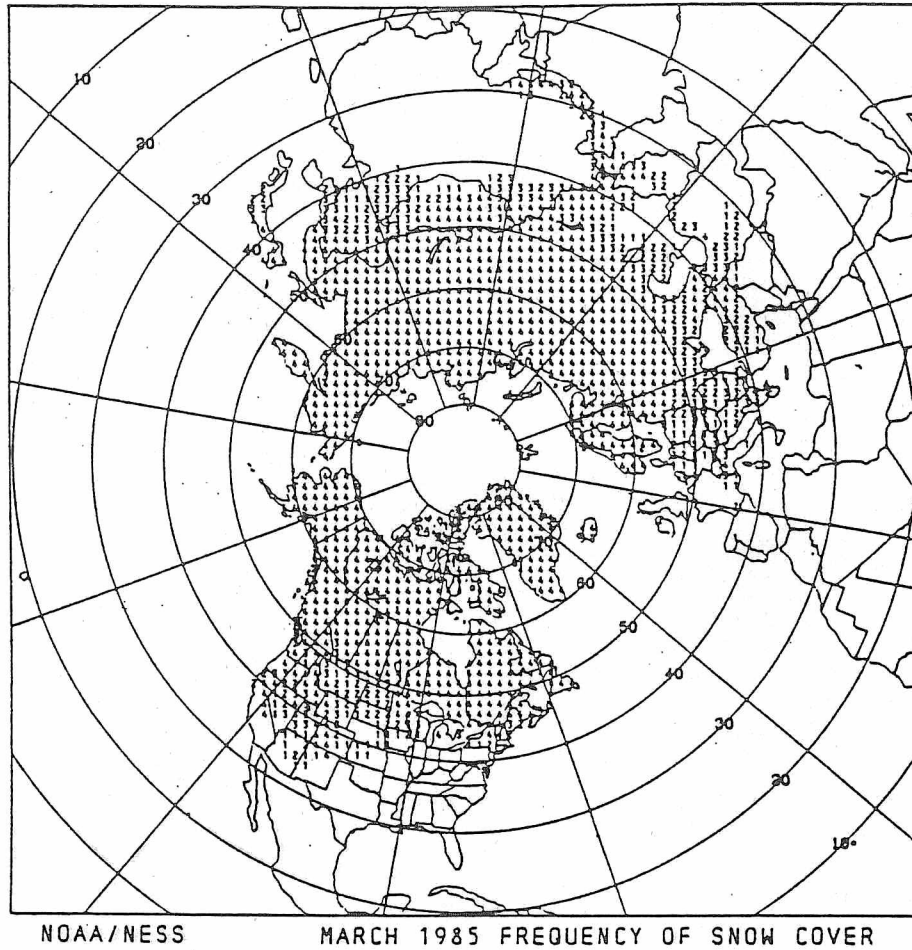


Figure 4. Digitized monthly Northern Hemisphere snow cover frequency map for March 1985. The numbers represent how many weeks snow cover was on the ground for the area.

☒ 3 (Matson, "Snowwatch '85")

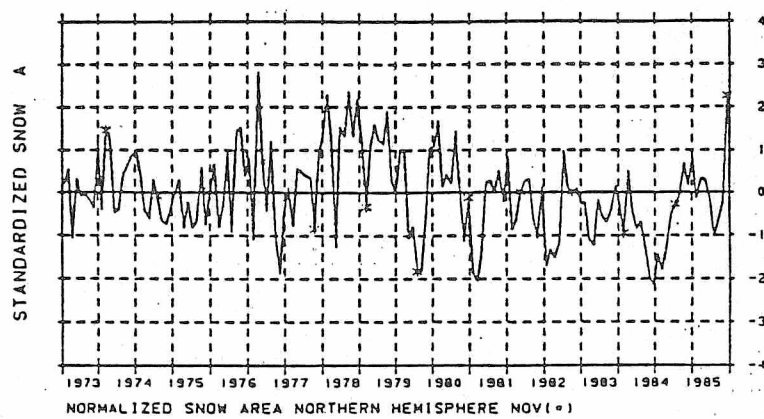


Fig 1b. Time series of standardized Northern Hemisphere snow cover area. The means and standard deviations for the normalization are computed over the 1973-present-month period. The (°) designates the standardized departures for November of each year. Operational time series are produced and updated monthly.

☒ 4 (Repelewski, "Snowwatch '85")

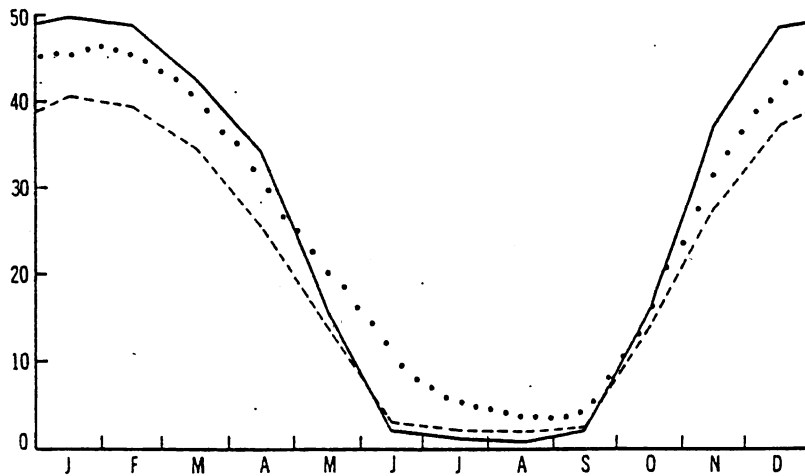


Figure 1. Areal coverage of Northern Hemisphere snow cover (10^6 km^2) from the low resolution (solid line) and high resolution climate simulations. The observed snow cover area from the climatology of Dewey and Heim (1981) is indicated by the solid circles.

☒ 5 (Broccoli, "Snowwatch '85")

表 1 (Schlesinger, "Snowwatch '85")

Table 1. $2x\text{CO}_2 - 1x\text{CO}_2$ Differences in Selected Annual-Mean Global and Hemispheric Mean and Total Quantities for Years 16-20.

Quantity	Global Mean	N. Hemis. Mean	S. Hemis. Mean
Surface Air Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	1.54	1.74	1.34
Snow Area (10^6 km^2)	-7.04	-4.82	-2.21
Snow Mass (g cm^{-2})	-0.34	-1.05	0.37
Snowfall ($10^{-2} \text{ g cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)	-0.14	-0.17	-0.11
Snowmelt ($10^{-2} \text{ g cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)	-0.05	-0.07	-0.04
Sea Ice Area (10^6 km^2)	-3.86	-1.89	-1.97
Sea Ice Thickness (cm)	-2.56	-4.84	-0.87

^a These are total, not mean, quantities.

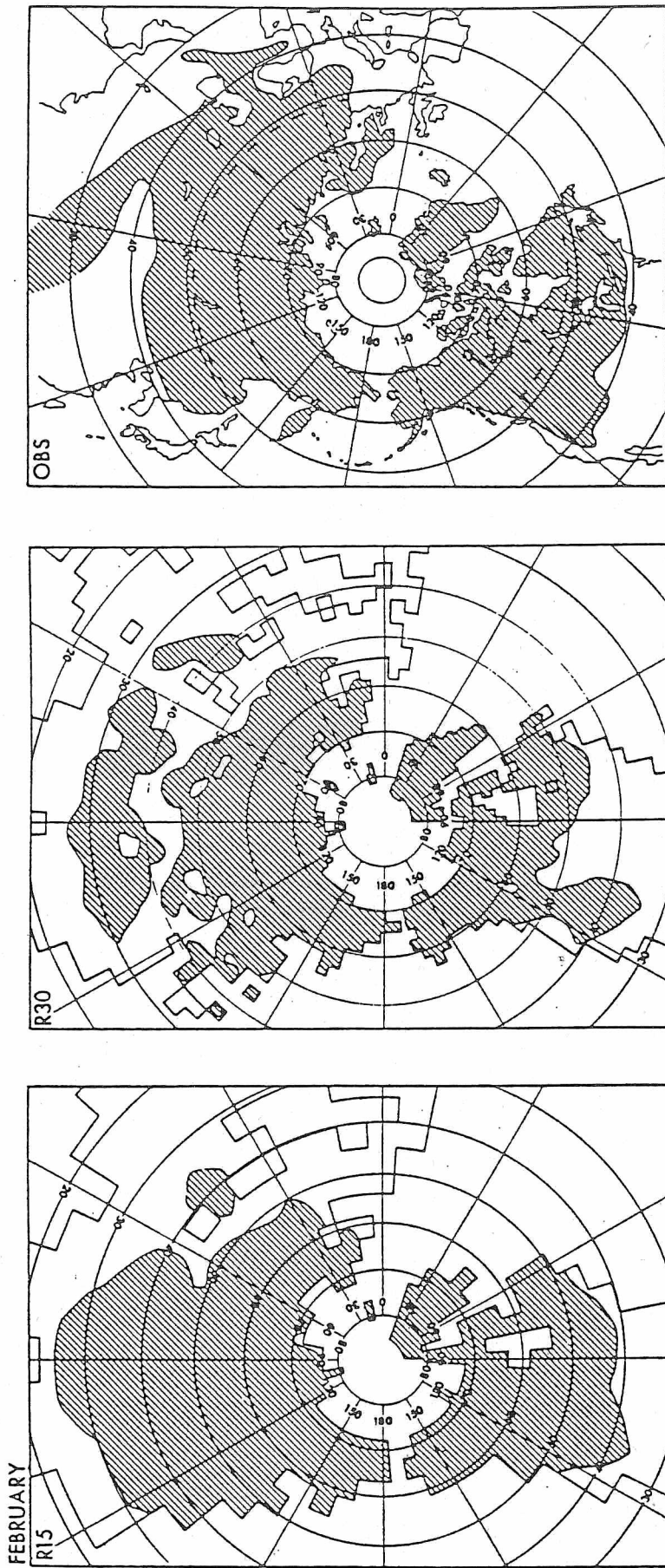
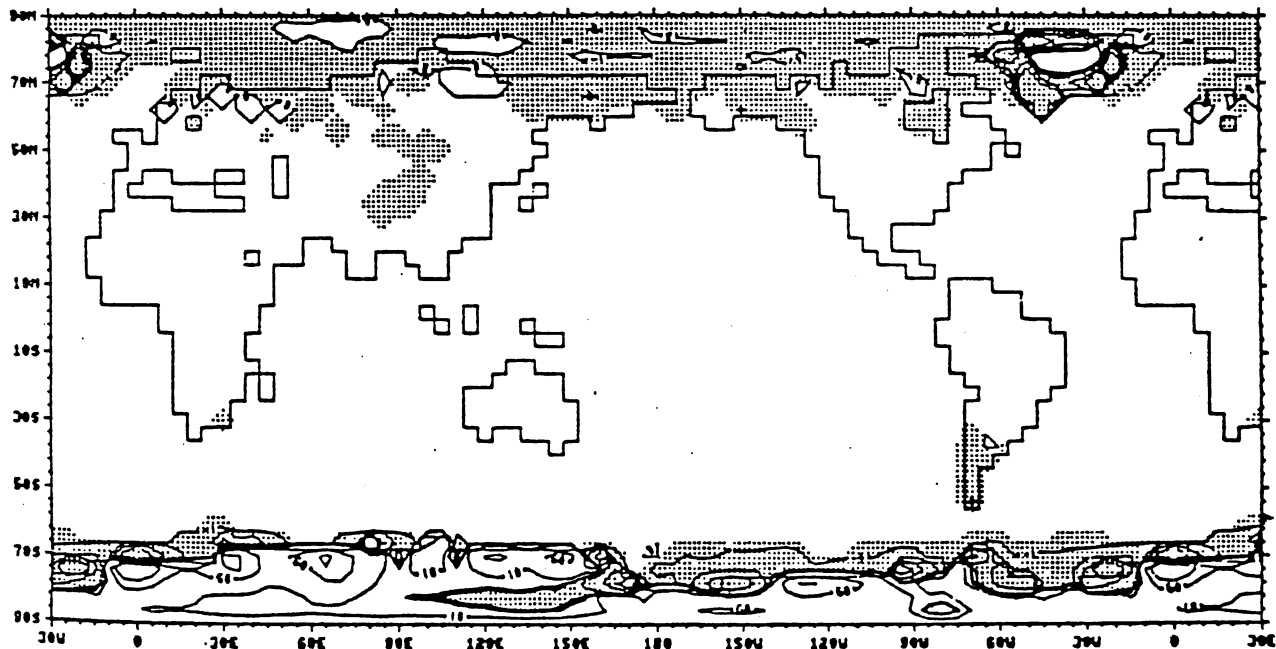
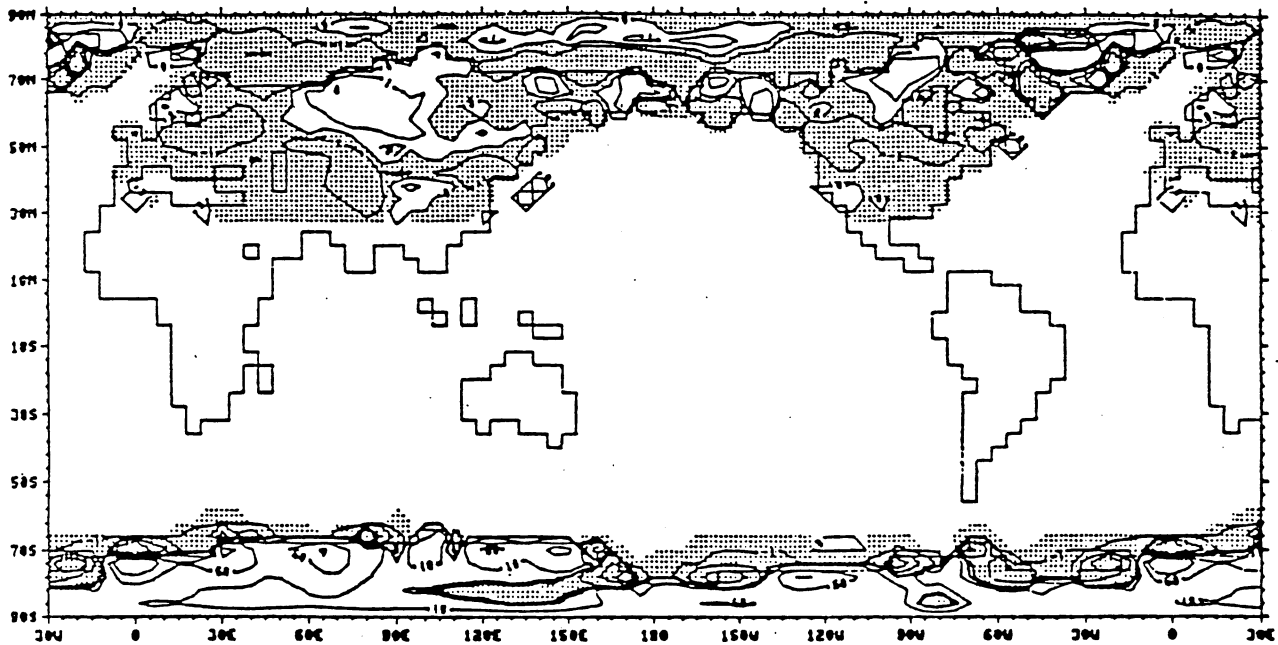


Figure 2. February mean snow cover: (left) low resolution model; (center) high resolution model; (right) observed. Hatched areas represent mean snow cover water equivalent of 1 cm or more from the climate model simulations and the observed mean snow cover based on the analysis by Robock (1980).

Figure 6 (Broccoli, "Snowwatch '85")



☒ 7 The geographical distribution of the $2xCO_2 - 1xCO_2$ snow amount differences ($g\ cm^{-2}$) for DJF (above) and JJA (below) as averaged over the last five years of the simulation. Stipple shows decreases in the snow amount. Contours shown are 0, ± 1 , ± 10 , ± 50 and $\pm 100\ g\ cm^{-2}$.

(Schlesinger, "Snowwatch '85")

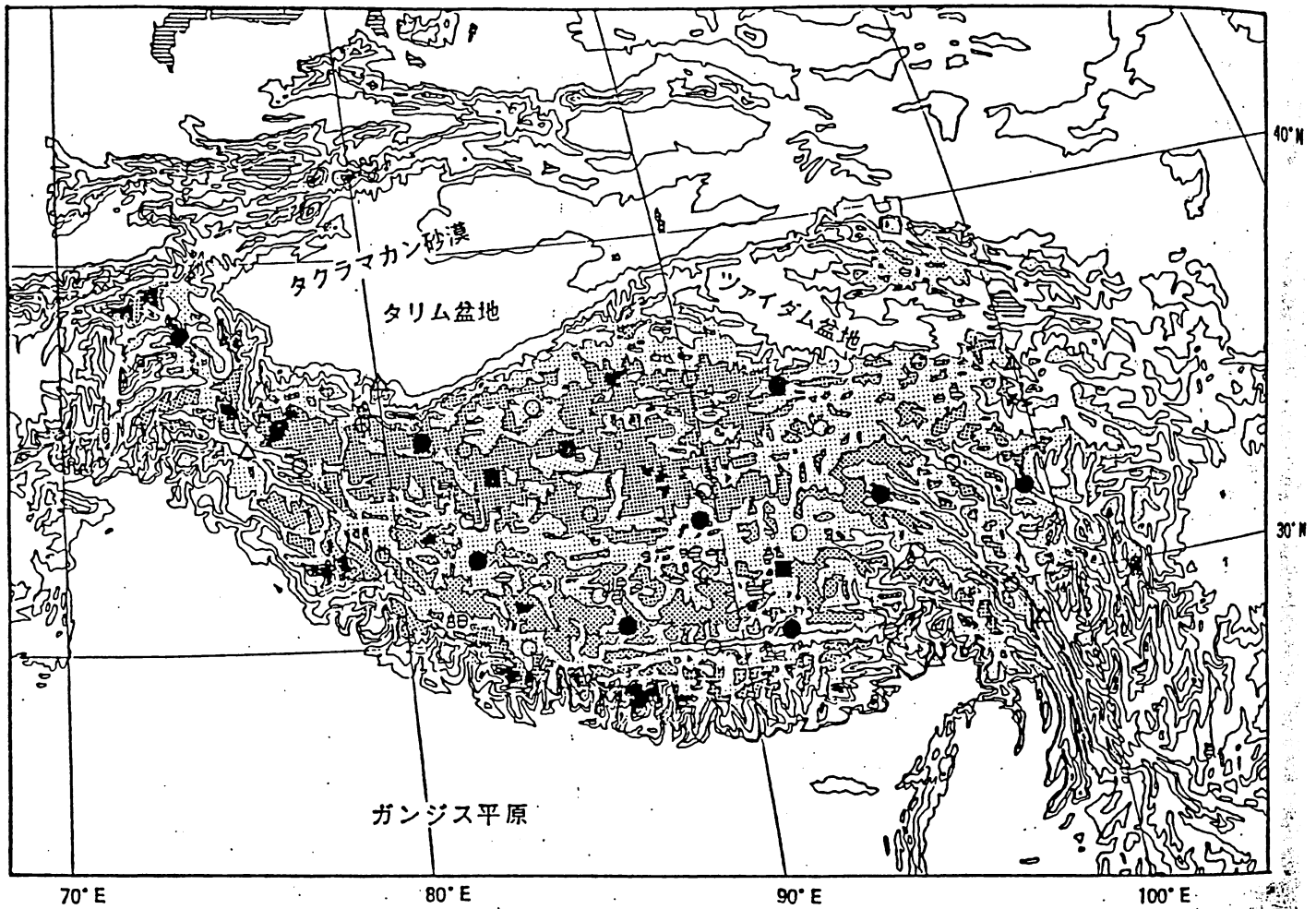


図8 SIHMAPに関連したチベット高原における模式的な観測地点分布

○ 地上気象観測地点

● 高層気象観測地点

■ 特別観測地区

△ 水文観測地点

淡いハッチ - 標高4,000 m 以上

濃いハッチ - 標高5,000 m 以上