

## 2006年秋季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会2006年度秋季大会(名古屋)1日目(10月25日)のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が大会A会場(ウィルホール)にて行われた。出席者は約80名であった。今回の極域・寒冷域研究連絡会は、「豪雪を語る」と題して、元気象庁長官の二宮洸三氏の講演会を行った。よく知られているように、2005/2006年の冬は、12月を中心に記録的に寒く、日本海側は大雪に見舞われた。この豪雪は20年ぶりとも言われたが、過去には、38豪雪や56豪雪などと言われるような例もあった。そのような過去の例を含め、豪雪に関する話題をほぼ広く提供して頂いた。豪雪には、半球規模、総観規模、メソスケール規模の大気循環や、SST、水蒸気供給など、多様な要素が関係している。今回の豪雪に関する講演を通じて、様々な分野の研究者の議論、交流を深める機会になったのであれば幸いです。

以下に、講演者より寄せられた講演要旨を紹介する。なお、この講演会は、同日に開かれたスペシャルセッション「2005/06年の異常な冬について」に引き続いて行われたものである。

## お詫びおよび謝辞

編集作業の遅延により研究会報告が大幅に遅れ、二宮氏はじめ各方面の方々にご迷惑をお掛けしたことを、ここに心からお詫びいたします。また、講演を快く引き受けてくださった二宮氏に、深く感謝申し上げます。

## 代表:

山崎孝治(北海道大学地球環境科学研究所)

## 世話人:

平沢尚彦(国立極地研究所)

中村 尚(東京大学大学院理学系研究科)

浮田甚郎(新潟大学自然科学系理学部)

高田久美子(地球環境フロンティア研究センター)

阿部彩子(東京大学気候システム研究センター)

佐藤 薫(東京大学大学院理学系研究科)

本田明治(地球環境フロンティア研究センター)

齋藤冬樹(地球環境フロンティア研究センター)

猪上 淳(地球環境観測研究センター)

高谷康太郎(地球環境フロンティア研究センター)

[http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl\\_index](http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl_index)

## 話 題: 豪雪を語る

## 豪雪・寒冬研究の経過(成果と反省)、問題点、および、今なすべきこと\*

二宮洸三(海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター)

日本の豪雪・寒冬に関する研究の経過と成果を述べ、残された問題点と今なすべき研究について論及す

る。過去100年にわたる全国の降積雪データの整理・管理が豪雪・寒冬とその経年変化の把握に重要である。過去数例の典型的寒冬・豪雪事例には共通性もあるが相違点もある。総合的な比較のために寒冬・豪雪事例の総合的ドキュメントの作成が必要である。多くの研究では、それぞれの研究者の興味の分野の問題が掘り下げられているが、それらの成果を総合して、さ

\* Review of the studies on the severe snow-fall events over Japan, remaining problems and a proposal for further study.

© 2008 日本気象学会

らにリアリステックな寒冬・豪雪の実態を解明する必要がある。

### 1. はじめに

2005年12月～2006年1月は記録的豪雪・寒冬期間であつた。気象学会2006年秋季大会では、スペシャルセッション「2005/06年の異常な冬について」においてこの冬の気象状況について様々な観点からの研究発表と討論がなされた。これに引き続くナイトセッションとして、極域・寒冷域研究連絡会が開かれた。通常、この連絡会では数人の話題提供者による研究発表がなされるが、今回は十分に時間をかけ一人の話題提供者により表記の講演と質疑討論がなされた。この報告は、その要旨である。

### 2. 降雪・気団変質・寒冬にかかわる日本の研究の歴史的経過

日本列島はアジア大陸の東岸に位置し、冬季にはアジア冬季季節風の影響を強く受ける。そして大陸との間に存在する日本海上の気団変質過程のなかで、さまざまな気象擾乱が発現し日本海沿岸地帯ではしばしば豪雪が発生する。これまでになされた、寒冬・豪雪についての研究を振り返り、その成果と残された問題点を指摘する。

#### 2.1 1940～1960年代の先行研究

1940年代には、航空気象のニーズから、冬季季節風時の観測的研究が始まった。その一例として、冬季日本海・日本列島の成層と雲層（雲頂高度・着氷など）に関する上松（1939）および荒川ほか（1940）の報告が挙げられる。また戦時中、航空気象観測のために清水越（清水峠）観測所が臨時に設置されていたが、著者の調べた限りではそのデータの所在は不明である。

この時期になされた海外の寒気吹出・降雪に関連した研究（Jacobs（1951）、Palmen and Newton（1951）、Kuettner（1959）、Browning and Ludlam（1962）、Ludlum（1962）、Aldoshna（1957）、Petterssen and Calabrese（1959）等）は、日本の研究に影響を与えた。

日本では1950年代以降、日本海上の気団変質の研究が、Miyazaki（1949）、Kurooka（1957）、Manabe（1957）等によって進められた。

1950年代に豪雪が頻発し、豪雪予測技術の向上のため多くの総観解析・統計解析が気象庁関係者によってなされた。Fukuda（1965,1966）、Kurashima

（1968）、Ishihara（1968）、Miyazawa（1968）等はその例である。

この頃、水力電源開発のためスノーサーベイが行われたが、筆者はそのデータの所在を確認していない。

#### 2.2 北陸豪雪特別研究

単純化すれば、冬季日本海域の気象の基本的時間経過は次のように記述される。「アジア大陸上を東進する偏西風帯のトラフが対流圏下層の傾圧性が強い大陸東岸に接近すると総観規模低気圧が発達しシベリア高気圧と北西太平洋上の低気圧との間の気圧傾度が増大し寒気吹出が発現し、同時に日本海上で急激な気団変質が進行し、この過程の中で降雪が日本列島の日本海沿岸部にもたらされる。」しかし、このような単純化した概念モデルでは実際の寒気吹出・気団変質・降雪は十分には説明されない。したがって豪雪・寒冬の理解のためには、まず冬季季節風の実態を知らねばならない。

寒気吹出と北陸豪雪の本格的研究は気象庁気象研究所による「北陸豪雪特別研究計画」（1962-1966年；主任研究者、松本誠一博士）によって始められた。当時の気象界の関心は、大規模現象や準地衡風モデルに向けられており、「北陸豪雪のような地域的現象やノイズの様なメソスケール現象の観測的研究に勢力を分散させるべきではない」などの今日では考えられない愚な議論・批判があった。なお、この研究計画の初年度に記録的な「昭和38年豪雪」が発生した。

このプロジェクトの目的・観測・成果は次のように要約される。

#### [目的]

豪雪の実態の把握

豪雪の発現過程・条件の理解

日本海からのエネルギー補給と豪雪の関連の理解

#### [観測]

1963-67年冬季、計約30日の観測期間（高層観測点の追加2-3点）

観測船の日本海定点観測（ただし高層風観測なし）

レーダシネ連続観測（当時はアナログ記録）

航空機観測（ドロップゾンデ、雪雲写真観測）

#### [成果]

幾つかの成果を箇条書き的に列挙しよう。

豪雪と上層寒冷渦との関係（Matsumoto *et al.* 1965）

寒気・気団変質のエネルギー収支と豪雪の関係（Ninomiya 1968）

寒気吹出時の混合層と雲層の形成 (Matsumoto and Ninomiya 1966 a, b)

日本海上雲量と海面熱エネルギーフラックスの関係の統計的解析 (Matsumoto *et al.* 1968)

積雲の構造 (Asai 1964)

気団変質の数値実験 (Asai 1965)

メソ降雪系の検出 (Matsumoto *et al.* 1967 a, b)

渦状擾乱の検出 (Miyazawa 1967)

降雪分布の特徴 (里雪と山雪) (藤田 1966)

レーダエコー分布と降雪分布の関係 (藤原 1967)

(これらの成果は「北陸豪雪調査報告 (気象庁 1968)」にも纏められている。)

同時期に名古屋大学の雲物理グループの研究観測がなされ、北陸の雪雲では過冷却水の量が多く、スノウフレーク状の降水粒子が多いことが特徴であると指摘されている (文献省略)。

[反省]

- 1) NWP モデルの活用なし。(当時は準地衡風モデルであったが、寒冷渦の研究には利用できなかったであろう。)
- 2) 極軌道衛星画像の活用が不十分。(日本での受信画像は不鮮明。米国から画像を入手すべきであった。)
- 3) 海上の高層観測不足。(当時の旧凌風丸では海上高層風観測不可能であった。)

### 2.3 1970年代以降の発展

1970年代以降、静止衛星GMSの打ち上げ、新観測船(啓風丸)の就航、客観解析・NWPモデルの進歩などを背景に“降雪と関連する擾乱系”について研究の進展があった。それらの幾つか列挙しよう。

- 日本海収束帯(収束雲)の解析と数値実験: 岡林 (1969), Nagata (1987, 1993)
- 降雪分布のEOF解析と大規模場の合成解析: Akiyama (1981 a, b)
- 日本海と大気の大気熱収支: Kato and Asai (1983)
- 寒気内小低気圧の解析と数値実験: 滝野 (1974), Ninomiya (1989, 1991), Tsuboki and Wakahama (1992), Yanase *et al.* (2002)
- 寒気吹出の多種スケール階層構造: Ninomiya and Hoshino (1990), Ninomiya *et al.* (1996), 二宮 (2006)
- 気団変質のエネルギー収支(啓風丸観測データを使用した): 山岸 (1980), Ninomiya (2006, 2007)
- 気団変質の数値モデル: Estoque and Ninomiya

(1976), Yamagishi (1980)

- 気団変質と寒気内低気圧のAGCM実験: Ninomiya *et al.* (2003, 2004, 2006)
- 雲物理学的研究観測 (Murakami *et al.* 1994; 気象研究所 (村上編) 2005)
- メソ対流系研究観測 (Yoshizaki *et al.* 2004)

### 2.4 寒冬の研究

1963年の寒冬以後、ブロッキング現象と寒冬の関係が調べられている。さらに、AO(北極振動)、ENSOとの関係も論じられている (文献省略)。

しかし、下記の疑問は十分に答えられていない。

- 日本の寒冬の空間・時間スケール
- 平均場とそこに発生する循環系の関係
- 総合的な一連のプロセス(時間発展)
- 過去の豪雪・寒冬年の循環場の相違
- 大循環モデルによる寒冬・豪雪の再現
- 寒冬・豪雪のNWP長期予測の問題点と解決
- 降・積雪・冬季降水量の経年変化

### 2.5 寒冬・豪雪の総合的理解

多くの研究は、個々の研究者の興味の対象に向けられ、結果的には断片的となりがちで、そのため寒冬・豪雪の総合的・実態的な理解に至っていない。総合的理解に何が必要かを以下の各節で議論する。

## 3. 降・積雪データの定義と問題点

### 3.1 主要な降・積雪データ

下記の降・積雪データがある。

- 1) 積雪深: 自然状態の積雪深。(その年間最大値が最深積雪深である。)
- 2) 日降雪深: 1日毎に日界時にリセットして計る降雪深。
- 3) 時間降雪深: 1時間毎にリセットして計る降雪深。
- 4) 降水量(水換算値)。
- 5) 水換算積雪量(値)。

ここで、次の注意が必要である。

- 積雪深の1日間差は日降雪深にならない!
- 日降雪深の期間総計は積雪深にならない!
- 積雪深と降水量はAMEDASで測定可能。
- 日(時間)降雪深の自動観測は不可能(現在の機器では)である。気象観測自動化に伴い日(時間)降雪深データは得られなくなる!
- 日(時間)降雪深の推定値の算出が必要(過去データとの比較のため、あるいは、防災情報として)。

○NWPでは、積雪深・日降雪深は予測されていない!

○山間部の積雪深データは十分ではない。

### 3.2 降・積雪データの整備状況

- 1) AMEDAS データの編集は気象庁によって完了。
- 2) これ以前 (区内観測所, 水理水害観測所, 農業気象観測所等) の積雪深, 日降雪深, 降水量データの編集はまだなされていない。市町村合併等により過去の観測点の位置がわからなくなる恐れがある。
- 3) 過去100年間の積雪深, 日降雪深, 降水量データベースが必要である。これ無くしては, 寒冬・豪雪のドキュメントの編纂は不可能である。
- 4) 山岳気象観測所 (自動化された) の過去データの整理保管が必要。

### 3.3 豪雪の定義

現在, 豪雪の定義も曖昧である。

- 1) 豪雪の尺度として, 積雪深, 日降雪深, 降水量のいずれが適切か?
- 2) 豪雪の尺度として, 地点値, 面積積分値 (地域の指定をどうするか?) のいずれが適切か?
- 3) 気象学的定義か, 社会的定義 (たとえば経済的損害, 人的被害) のどちらなのか?

## 4. 豪雪の発生環境および循環系等との関連

### 4.1 関東・東北・北海道太平洋沿岸の大雪の発生環境

太平洋岸の大雪は発達した温帯低気圧に伴う。これも重要な現象だが, まとまった総合報告はない。

[註] 北米東岸の大雪は温帯低気圧に伴って発現する (Kocin and Uccellini 1990, 2005)。

### 4.2 日本海沿岸 (山陰・北陸・東北, 北海道) の大雪の発生環境

偏西風帯の蛇行が比較的小さくトラフの振幅も小さい場合には, トラフに伴って総観規模低気圧が発達するとシベリア高気圧と北西太平洋上の低気圧との間の気圧傾度が増大し寒気が吹出し, 日本海上で気団変質が進行し, 日本海側の山地に降雪がもたらされる。この状況下では, 季節風は強いが, 日本海上の混合層の厚さは薄い (~1000 m)。これに対し, 偏西風帯の蛇行が大きく上層寒冷渦が形成される場合には, その直下にはドーム状の寒気が現れる。季節風は必ずしも強くないが, 厚い対流混合層が形成され, 沿岸部に大きな降雪が発現する。このような大規模場の条件下では

メソスケールの降雪システムが発生する。

このように, この地域の発生環境は以下の2種類に大別される。

○強い寒気吹出 (冬季季節風) …山間部の大雪

○強い寒冷渦 (寒気ドームを伴う) あるいは, 深い寒冷トラフ…平野部の大雪

[註] 北米五大湖南東岸の大雪も寒気吹出と気団変質に伴って発現する (Peace and Sykes 1966; Lavoie 1972)。

### 4.3 メソ対流系の降雪への寄与

寒気内小低気圧 (PMC), 日本海収束帯 (JSCZ), 降雪バンド等も強い降雪を伴うが, それらが実際の豪雪全体の降雪量にどのような割合で寄与しているかは調べられていない。

### 4.4 降水微物理過程の寄与

日本海域の雪雲では, 大きな過冷却水の存在および霰と雷の重要性が指摘されているが, 豪雪時の長期間・広域にわたっての, 降水 (雪) 粒子の種類別分布, それらの降雪に対する寄与は調べられていない。

## 5. 日本海沿岸部の豪雪史

前述したように, 豪雪の定義も明確ではないが, 従来の記録で豪雪あるいは大雪としてある事例から近年の主要な豪雪事例を取り上げてみる。●印は特に著しいとされている事例を示す。

○明治14年 (1881年1月~2月)

○明治18年 (1885年1月~2月)

○明治19年 (1886年1月~2月)

○明治37年 (1904年1月~2月)

●大正7年1月 (1918年1月)

大正時代最大の豪雪, 各地で雪崩発生

最深積雪 (cm) 三俣: 640 小千谷: 251 福井: 170 金沢: 143

●昭和2年 (1927年1月下旬~2月中旬)

暖冬直後の豪雪

最深積雪 (cm) 新潟: 81 高田: 372 赤倉: 405  
小千谷: 325 柏崎: 194 中土: 742 入善: 201 伏木: 159  
金沢: 167 福井: 209 豊岡: 119

人命損失 197人

○昭和6年1月 (1931年1月)

○昭和7年1月 (1932年1月)

○昭和9年1月 (1934年1月)

- 最深積雪 (cm) 高田：282 小千谷：367
- 昭和11年1月 (1936年1月)  
寒冬年 (東京 2月23日 積雪 36 cm)  
最深積雪 (cm) 栃尾又：708 小出：397 米沢：  
260 新庄：250 青森：209 新  
保：505  
人命損失 158人
- 昭和15年1月 (1940年1月)  
最深積雪 (cm) 八尾：239
- 昭和20年1月 (1945年1月)  
世界的寒冬年 (と言われる)  
最深積雪 (cm) 寿都：189 青森：209 高田：377  
十日町：425 森宮野原：785 真  
川：750 女原：544 新保：505  
金沢：125  
人命損失 不明
- 昭和35年12月～36年1月豪雪 (1960年12月末～1961  
年1月初旬)  
最深積雪 (cm) 塚山：390 高田：173
- 昭和38年1月豪雪 (1963年1月中～下旬)  
著しい blocking と寒冷渦，平野部の豪雪  
最深積雪 (cm) 青森：135 只見：333 三条：245  
塚山：308 長岡：318 直江津：  
120 富山：186 伏木：225 金  
沢：181 白峰：420 福井：213  
敦賀：154 今庄：315 米子：88  
人命損失 231人  
(気象庁技術報告：昭和38年1月豪雪調査報告 (気  
象庁 1964) 参照)
- 昭和49年1月 (1974年1月中～下旬)  
東北地方日本海沿岸
- 昭和51～52年 (1976年12月中～1977年2月)  
寒冬で数回の寒波
- 昭和55～56年冬 (1980年12月～1981年1月)  
長期にわたる寒気流入と降雪  
最深積雪 (cm) 青森：130 山形：113 新潟：28  
高田：245 長岡：223 十日町：  
377 奥只見：525 富山：160 金  
沢：125 福井：196 敦賀：196  
高山：128 鳥取：80 森宮野原：  
430  
人命損失 96人
- 昭和59年1～2月 (1984年1月～2月)  
長期間の降雪

2008年8月

- 最深積雪 (cm) 高田：292 十日町：367  
人命損失 153人
- 昭和60年1月 (1985年1月)  
最深積雪 (cm) 高田：298  
人命損失 46人
- 昭和61年1月 (1986年1月)  
最深積雪 (cm) 青森：194 高田：324  
人命損失 76人
- 平成17～18年豪雪 (2005年12月～2006年1月)  
12月初旬より，著しいシベリア高気圧 (～1060  
hPa) と強い寒気吹き出し  
山間部で12月の積雪深の新記録が多い。  
最深積雪 (cm) 津南：397  
(スペシャルセッションの予稿，および，佐藤編  
(2006) の調査報告があるが，全体像は十分に理解で  
きない。)

## [註] 過去の天候・気象記録

気象庁の経常的報告物として

・気象要覧 (平成14年を最後に休止)

・気候系監視報告

が刊行されているが，公文書的・定型的で，実際の特  
異現象の実態は活写されていない。その他，各気象台  
で「異常気象報告」，「災害時自然状況報告」，「府県区  
気象月報」なども刊行されていたが名称等の変化があ  
る。これらの資料からの，日本海沿岸の豪雪のドキュ  
メントの編纂は容易ではない。

## 6. それぞれの豪雪事例の特徴

研究連絡会では，幾つかの豪雪ケースのデータを示  
し総観規模状況の特徴を示した。この報告では図表は  
省略して，注目すべき事項のみを要約する。

- 1) 1963年の日降雪深と積雪深の時系列を見ると，数  
回の強降雪イベントにより積雪深が階段状に増加  
している。つまり，降雪は日スケール以下の現象  
である。日降雪深分布はメソスケールの集中を示  
す。
- 2) ある地点の最大積雪深の経年変化と領域平均最大  
積雪深の経年変化はパラレルとは限らない。すな  
わち，最大積雪深で見ても，豪雪の空間スケール  
は総観規模以下である。
- 3) 月平均温度偏差図で見た寒気域は極東スケールで  
あるが，日～半旬気温偏差で見た寒気域は日本列  
島のスケールより小さい。

- 4) 各地点気温偏差の時系列で見た著しい寒気の時間スケールは数日である。
- 5) 豪雪年では、日本海上を通過する寒冷トラフ・寒冷渦が顕著であるが、特に1963年には寒冷渦が卓越していた。1981年には比較的短波長のトラフが卓越していた。
- 6) 豪雪年では少雪年に比し特に対流圏中層が低温で、対流圏下層の鉛直安定度は小さく、厚い混合層が海上で形成され、海面に於ける顕熱・潜熱フラックスも大きい。
- 7) 寒気吹出それ自体にも、多種スケール階層構造が見られる。これは豪雪についても多種スケール階層的複合現象として理解すべきことを示している。すなわち、各素過程の理解を統合する理解が必要である。
- 8) 日本海沿岸地帯の西日本と東日本の積雪・降水量の経年変化傾向は異なる。特に新潟と高田（上越市）のトレンドは著しく異なる。

### 7. 着手すべき研究の提言

日本の気象界では以下の問題が未解決のまま放置されている。これらの問題を総合的に研究する新しいプロジェクトの立ち上げが切望される。

#### <基礎データの編集>

- 過去～100年の積雪深、日降雪深、日降水量データ
- AMEDASの積雪深、日降水量、時間降水量データ
- 代表的豪雪事例の抽出と降積雪のドキュメント作成
- 代表的豪雪事例の大規模場、総観場の時間発展の記述（1950年代までの再解析データが必要）
- 代表的豪雪事例の衛星雲画像とレーダ画像
- 積雪深、降水量、気温を用いた日降雪深の換算推定
- <基礎的な観測的解析>
- 各寒冬の発現～解消の大規模場の時間発展過程
- 各寒冬の大規模場における豪雪をもたらす総観規模循環系の特徴と時間発展過程
- 総観規模循環系の内部で発現するメソ循環系の特徴と時間発展
- 実際の豪雪に対する、各種メソ降水系の寄与
- 気団変質と豪雪の関係
- <広域雲物理学的・雪氷物理的解析>
- 広域における降雪粒子の形態と降積雪に対する寄与
- 海上・沿岸部・内陸部・山間部における雪雲・降雪

- 粒子の特性、雷の頻度・有無（沿岸距離依存性）
- 季節進行と大規模環境に対する雪雲の特性、降雪粒子の特性、雷の頻度・有無などの変化
- 積雪・融雪の過程
- <数値モデル関連>
- 非静力学モデルでの積雪・降雪・降水粒子の予測
- 降雪をもたらす個々のメソ降水系の現実的な予測
- 寒冬・豪雪の1ヶ月予測の問題点の抽出とその解決
- 気候モデルの20世紀ランで寒冬・豪雪の再現と出現頻度の確認
- 気候モデルの20世紀ランの寒冬期間に出現した総観規模循環系の確認
- <降雪・豪雪の経年変化・長期トレンド等>
- 日本海沿岸域西・東日本での長期トレンドの差
- 温暖化による積雪・降雪・降水の変化とその解釈
- 日本の寒冬時の東アジア冬季モンスーンの特徴
- <その他の興味ある現象>
- 日本海沿岸では寒冷前線通過時には地上気温は上昇する。陸上の寒気と寒気吹出との関係（前線構造）
- 沿岸の降雪時に卓越する短周期の強風変動（ガスト）の要因と出現範囲
- 地吹雪を伴う強風の実態

最後に観測と研究についてのコメントを加えたい。

- 日本の観測能力は大幅に増大し、数値モデルの向上もあり、多くの充実した研究が可能となった。その統合的活用が望まれる。
- 近年、社会的貢献が重視されるため、実用性についての誇大な研究表題が目につく。研究の発展には適度な“背伸び”が必要だが、誇大提案は避けるべきだ。新規性が強調され過ぎ、本当に必要な基礎的研究テーマが採択され難くなっている。
- 近年、多くの大型プロジェクトが次々と行われ、研究時間・人員に対して観測データ・モデル出力等が過大となってきた。それらを十分に研究・考察する余裕が無いまま、研究組織を維持するため次々と大型プロジェクトを継続する傾向は好ましくない。
- 観測データは再現できない点において貴重である。各業務、各プロジェクト終了後にも、それを保存管理する全国的な組織が必要。
- 各素過程の正確な理解は大切だが、考察する現象全体の理解について、なにか本質的・致命的かの議論をさらに深める必要がある。
- シグナル抽出のため様々な解析法が利用されるが、

最終的には切り刻んだデータ解析の結果を纏めて全体像に復元することが大切である。

### 謝 辞

今回の極域・寒冷域研究連絡会において、約2時間の講演時間で「豪雪・寒冬研究の経緯（成果と反省）、問題点、および、今成すべきこと」につき著者の考えを十分に述べる機会を与えて下さったコンピーナー、および、熱心な質疑討論を加えられた参加者の皆様に御礼申し上げます。寒冬・豪雪についての我々の理解はまだ断片的で、その全体を十分に理解するに至っておりません。今後、多くの方々のご共同により、この分野の研究が進むことを願います。

また筆者の気団変質・豪雪の調査研究に御協力・御援助下さった多くの方々に御礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 上松 清, 1939: 日本海航空気象の調査. 航空気象報告, 3, 202-250.
- Akiyama, T., 1981 a: Time and spatial variations of heavy snowfalls in the Japan Sea coastal region. Part 1. Principal time and space variations of precipitation described by EOF. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50, 578-590.
- Akiyama, T., 1981 b: *ibid.* Part 2. Large-scale situations for typical spatial distributions of heavy snowfalls classified by EOF. *J. Meteor. Soc. Japan*, 50, 591-601.
- Aldoshna, E. I., 1957: Heat balance in the surface of Japan Sea. *Trans. Natl. Oceanogr. Inst.*, 35, 119-159.
- 荒川秀俊, 矢野四郎, 荻原晰二, 伊福市二, 山口 悟, 1939: 富山市に於けるラヂオ・ゾンデによる季節風調査. 航空気象報告, 2, 158-206.
- Asai, T., 1964: Cumulus convection in the atmosphere with vertical wind shear: Numerical experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, 42, 245-259.
- Asai, T., 1965: A numerical study of the air-mass transformation over the Japan Sea in winter. *J. Meteor. Soc. Japan*, 43, 1-15.
- Browning, K. A. and F. H. Ludlum, 1962: Airflow in convective storms. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 88, 117-135.
- Estoque, M. A. and K. Ninomiya, 1976: Numerical simulation of Japan Sea effect snowfall. *Tellus*, 28, 243-253.
- 藤田敏夫, 1966: 北陸地方の里雪と山雪時における総観場の特徴. *天気*, 13, 359-366.
- 藤原録郎, 1967: エコーの配列型と降雪量分布. *天気*, 14, 256-261.
- Fukuda, K., 1965: Synoptic study on the mechanism of heavy snowfall. *Geophys. Mag.*, 32, 317-359.
- Fukuda, K., 1966: A synoptic study on the heavy snowfall in the Japan-Sea coastal area of the Hokuriku District. *J. Meteor. Soc. Japan*, 44, 201-208.
- Ishihara, K., 1968: Study of statistical analysis and forecast of snowfall on the area of the Japan Sea side of central Japan. *Geophys. Mag.*, 34, 1-113.
- Jacobs, W. C., 1951: Large-scale aspect of energy transformation over the oceans. *Compendium of Meteorology*, 1057-1070. *Amer. Meteor. Soc.*
- Kato, K. and T. Asai, 1983: Seasonal variations of heat budgets in both the atmosphere and the sea in the Japan Sea area. *J. Meteor. Soc. Japan*, 61, 222-238.
- 気象庁, 1964: 昭和38年1月豪雪調査報告, 気象庁技術報告, (33), 1160 pp.
- 気象庁, 1968: 北陸豪雪調査報告, 気象庁技術報告, (66), 481 pp.
- 気象研究所 (村上正隆編), 2005: 日本海降雪雲の降水機構と人工調節の可能性に関する研究. 気象研究所技術報告, (48), 222 pp.
- Kocin, P. J. and L. W. Uccellini, 1990: Snowstorms along the northeastern coast of the United States (1955 to 1985). *Amer. Meteor. Soc.*, 280 pp.
- Kocin, P. J. and L. W. Uccellini, 2005: Northeast Snowstorms: Vol.1: Overview, Vol.2: The Cases. *Amer. Meteor. Soc.*, 818 pp
- Kuettner, J., 1959: The band structure of the atmosphere. *Tellus*, 11, 267-294.
- Kurashima, A., 1968: Studies on the winter and summer monsoons in East Asia based on dynamic concept. *Geophys. Mag.*, 34, 145-235.
- Kurooka, H., 1957: Modification of Siberian air mass caused by flowing out over the open sea surface of northern Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 35, 52-59.
- Lavoie, R. L., 1972: A mesoscale numerical model of lake-effect storms. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1025-1040.
- Ludlum, D. M., 1962: Extremes of snowfall in the United States. *Weatherwise*, 15, 246-262.
- Manabe, S., 1957: On the modification of air-mass over the Japan Sea when the outburst of cold air predominates. *J. Meteor. Soc. Japan*, 35, 311-326.
- Matsumoto, S. and K. Ninomiya, 1966 a: Some aspects of the cloud formation and its relation to the heat and moisture supply from the Japan Sea surface under a weak winter monsoon situation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 44, 60-75.

- Matsumoto, S. and K. Ninomiya, 1966 b : Some aspects of an inversion layer over the Japan Sea under a winter monsoon situation as revealed by dropsonde and aerial photographic observation. *Pap. Meteor. Geophys.*, **17**, 51-64.
- Matsumoto, S., T. Asai, K. Ninomiya, M. Iida and M. Takeuchi, 1965 : Behavior of the extraordinary cold vortex over the Far East coastal area observed during the period from 23 January to 24 January, 1963. *J. Meteor. Soc. Japan*, **43**, 100-105.
- Matsumoto, S., K. Ninomiya and T. Akiyama, 1967 a : A synoptic and dynamic study on the three dimensional structure of mesoscale disturbances observed in the vicinity of a cold vortex center. *J. Meteor. Soc. Japan*, **45**, 64-82.
- Matsumoto, S., K. Ninomiya and T. Akiyama, 1967 b : Cumulus activities in relation to the mesoscale convergence field. *J. Meteor. Soc. Japan*, **45**, 292-305.
- Matsumoto, S., K. Ninomiya and T. Akiyama, 1968 : A statistical study on the relation between cloud amount and supply from the Japan Sea surface in January. *Pap. Meteor. Geophys.*, **19**, 551-558.
- Miyazaki, M., 1949 : The incoming and outgoing heat at the sea surface along the "Tusima" warm current. *Oceanogr. Mag.*, **1**, 103-111.
- Miyazawa, S., 1967 : On vortical mesoscale disturbances observed during the period of heavy snow or rain in the Hokuriku District. *J. Meteor. Soc. Japan*, **45**, 166-176.
- Miyazawa, S., 1968 : A mesoclimatological study on heavy snowfall. *Pap. Meteor. Geophys.*, **19**, 487-550.
- Murakami, M., T. Matsuo, H. Mizuno and Y. Yamada, 1994 : Mesoscale and microscale structures of snow clouds over the Sea of Japan. Part I : Evolution of microphysical structures in short-lived convective snow clouds. *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 671-694.
- Nagata, M., 1987 : On the structure of a convergent cloud band over the Japan Sea in winter ; a prediction experiment. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 871-883.
- Nagata, M., 1993 : Meso- $\beta$ -scale vortices developing along the Japan-Sea polar-airmass convergence zone (JPCZ) cloud band : Numerical simulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 43-57.
- Ninomiya, K., 1968 : Heat and water budget over the Japan Sea and the Japan Islands in winter season. *J. Meteor. Soc. Japan*, **46**, 343-372.
- Ninomiya, K., 1989 : Polar/comma-cloud lows over the Japan Sea and the northwestern Pacific in winter. *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 83-97.
- Ninomiya, K., 1991 : Polar low development over the east coast of the Asian Continent on 9-11 December 1985. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 669-685.
- Ninomiya, K., 2006 : Features of the polar air outbreak and the energy balance in the transformed air-mass observed over the Japan Sea. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 529-542.
- 二宮洸三, 2006 : 日本列島域の大規模および中規模循環系に関する研究～特に多種スケール階層構造に注目して～. *天気*, **53**, 93-122.
- Ninomiya, K., 2007 : Synoptic-scale variations in the polar air-mass transformed over the Japan Sea. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 171-186.
- Ninomiya, K. and K. Hoshino, 1990 : Evolution process and multi-scale structure of a polar low developed over the Japan Sea on 11-12 December 1985. *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 307-318.
- Ninomiya, K., J. Fujimori and T. Akiyama, 1996 : Multi-scale features of the cold air outbreak over the Japan Sea and the northwestern Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 745-761.
- Ninomiya, K., T. Nishimura, T. Suzuki, S. Matsumura and W. Ohfuchi, 2003 : Polar low genesis over the east coast of the Asian Continent simulated in an AGCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 697-712.
- Ninomiya, K., T. Nishimura, T. Enomoto, T. Suzuki and S. Matsumura, 2004 : Generation and development of a polar mesoscale cyclone over the east coast of Asia as simulated in an AGCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1435-1446.
- Ninomiya, K., T. Nishimura, T. Suzuki and S. Matsumura, 2006 : Polar-air outbreak and air-mass transformation over the east coast of Asia as simulated by an AGCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 47-68.
- 岡林敏雄, 1969 : 昭和44年1月上旬の日本海側大雪のときの気象衛星写真. *天気*, **16**, 79-80.
- Palmen, E. and C.W. Newton, 1951 : On the three dimensional motions in the outbreak of polar air. *J. Meteor.*, **8**, 25-39.
- Peace, R. L. and R. B. Sykes, 1966 : Mesoscale study of a lake effect snow storm. *Mon. Wea. Rev.*, **94**, 495-50.
- Petterssen, S. and P. A. Calabrese, 1959 : On some weather influences due to warming of the air by the Great Lakes in winter. *J. Meteor.*, **16**, 646-652.
- 佐藤篤司 (編), 2006 : 2005-06年冬期豪雪による広域雪氷災害に関する調査研究 (課題番号17800006). 平成17年度科学研究費補助金 (特別研究促進費) 研究成果報告書.
- 滝野一郎, 1974 : メソ擾乱の解析例. 気象研究ノート,



- (120), 59-69.
- Tsuboki, K. and G. Wakahama, 1992 : Mesoscale cyclogenesis in winter monsoon air streams. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 77-93.
- 山岸米二郎, 1980 : 冬期の日本海上の安定層の特徴. *天気*, **27**, 321-329.
- Yamagishi, Y., 1980 : Simulation of the air-mass transformation process using a numerical model with the detailed boundary layer parameterization. *J. Meteor. Soc. Japan*, **58**, 357-377.
- Yanase, W., H. Niino and K. Saito, 2002 : High-resolution numerical simulation of a polar low. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1658, doi : 10.1029/2002 GL014736.
- Yoshizaki, M., T. Kato, H. Eito, S. Hayashi and W.-K. Tao, 2004 : An overview of the field experiment "Winter Mesoscale Convective Systems (MCSs) over the Japan Sea in 2001", and comparisons of the cold-air outbreak case (14 January) between analysis and a non-hydrostatic cloud-resolving model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1365-1387.
-