

日本長期天氣預報技術之評介

廖 學 鎰

國立中央大學大氣物理研究所

一、日本長期天氣預報發展簡史

首先考察日本長期預報發展初期之社會背景。夏期氣溫異常低溫，或日照很少時，植物生理不順，因而誘致農作物收穫量之顯著減少，此種氣象災害稱之為冷害。日本北部之冷害，水稻之災害最大，豆類、甘薯次之。大冷害時夏期低溫、多雨，日照不足引起冷夏（參閱表1）秋季之來臨較早是其氣候學的特徵。長期間異常天候所引起之日本北部冷害，如果有長期天氣預報，可以作各種災害防範農業作業計劃，來減少氣象災害。

1900年代至1910年代初期，日本北部連續發生冷害，其中1902年、1905年及1913年之冷害最大。當時農業學者開始作長期天氣預報之研究，意望建立冷害之根本防範對策。首先發現「冷害來自海」之經驗上事實，即西北太平洋之海洋寒流較強時，日本北部會發生冷害。寒流較強時，鄂霍次克海高氣壓發展，誘致日本北部之冷害氣象。1915年安藤廣太郎「創造夏期天候預報之方法」。這些研究都發表在農業學術期刊上。

其後沒有發生冷害，因而長期天氣預報之熱潮逐漸衰退，至1931年，1934年，1935年等連續發生冷害，為探討發生冷害原因之目的，於東京之中央氣象台中設立研究室，並在日本北部增設幾處測候所，同時配備海洋觀測船。即在國家氣象事業中，設立夏季長期天氣預報用資料觀測及研究之長期預報機構。至1942年發佈旬日及夏季季節預報。至1944年2月，於中央氣象台中，正式設置長期預報課，加強

長期天氣預報業務。

當時預報作業上所使用之資料，限制在地球表面資料，同時範圍僅限制在遠東地區。又預報技術，以Baur之汎天候(GROOS Wetter-lage)，及Mulanofsky之自然季節為主要方法，配合相關法，周期法、類似法，並注意海水溫度及極地氣團之南下動態當做預報依據。當時大氣環流理論，尚在記述的分析的古典理論，不能擔任病理診斷作用。因此，長期預報正確度未能滿足社會上需求，受社會之指責，1949年10月中央氣象台之長期預報課被廢止。而長期預報技術之開發研究，移至氣象研究所執行(MRI, 1950, 1951)。但其後對長期天氣預報之需求增多，至1958年在氣象廳（日本中央氣象台已昇格為氣象廳），設立長期預報管理官室，擔任長期天氣預報業務。

二、日本之長期預報手冊

至1940年代，氣象觀測網之充實，以及探空觀測之普及，誘致中緯度西風帶波動理論之發展，導進熱能、動量、南北輸送之重要認識，促進新大氣環流理論之發展。此種大氣環流理論，可以擔任病理診斷作用，因而長期天氣預報技術，將建立在此種新大氣環流理論上。日本氣象廳為長期天氣預報技術開發之目的，每年召開全國長期預報檢討會一次。將至1969年之檢討成果加以整理，出版「季節預報指針」上卷(JMA, 1971)及下卷(JMA, 1972)兩冊，合計有470頁之季節預報手冊。自1970年，檢討會之討論焦點，集中於1個月長期天氣預報。至1980年檢討成果加以整理，出版「1個月預報指針」(JMA, 1981)共有300頁，為1個

表 1：主要冷害年，札幌之平均氣溫，及日照時間

年 次	水稻收穫量 kg/10a (北海道平均)	平 均 氣 溫 (°C)			日 照 時 間 (hr)		
		7 月	8 月	9 月	7 月	8 月	9 月
1976	361	20.4	19.4	16.2	241	202	157
1971	273	19.0	20.3	15.6	140	196	195
1969	351	20.6	19.6	16.4	222	128	221
1966	283	18.5	22.0	15.8	156	159	168
1964	264	18.7	21.5	15.7	140	123	192
1956	150	18.2	19.1	17.7	137	197	218
1954	177	17.7	20.6	18.0	219	133	158
1953	223	20.1	20.2	16.8	169	224	212
1945	105	16.7	22.1	16.1	161	177	193
1941	117	17.5	19.6	16.6	137	115	153
1935	118	19.2	19.3	16.0	176	158	177
1934	138	17.7	19.6	16.0	221	183	158
1931	84	16.0	21.3	17.1	106	184	170
1913	12	16.9	18.4	13.9	105	225	183
1905	123	18.6	18.7	16.0	252	190	185
1902	21	16.4	17.9	17.3	181	222	172
平均(1941-70)		20.2	21.7	16.9	194	190	180

月之長期預報手冊。

氣象廳出版之「一個月預報指針」中，第三章以「一個月預報法」之標題，有詳盡說明當時日本之長期預報方法，舉例加以說明，內容共有45頁。已經由中央氣象局翻譯成為中文(CWB, 1986)請參閱。又於該手冊第五章，以「預報作業之實際」為標題，舉例解說長期預報人員之實際長期預報作業程序，及作業表格(Work Sheet)使用上注意事項等，內容共有30頁。關於當時之日本中長期預報術及其工作思想，有著者之報告請參閱之(廖, 1981)。

日本之長期預報，簡要的說可以由兩段作業完成之。

(1)資料處理及統計的方法：

長期預報作業上，首先需要作大氣環流演變過程之客觀的，定量的診斷。即對等壓面高度場、溫度場、氣流場等物理變數之空間分佈及時間變化特性。以計量的方法，以及推測統計學的處理後，作大氣環流場及天候之定量的外插。此作業上統計學的方法為其主流，如相關比，合成圖與距平值，重相關比及多變量判

別函數，相關及回歸分析，類似法等統計是被常用。近年來可以使用電子計算機，作大量並複雜的資料處理，將主分量分析(Eigen Vector Analysis)，簇集分析(Cluster Analysis)，重回歸分析，層別化重回歸分析，多變量時系列資料處理等都可以使用。

(2)依據廣範圍天氣圖之綜合解釋

依據上述之資料處理及統計處理成果，即利用天候與大氣環流之相關關係，周期的規則性外插，以及類似天氣圖之天候推測方法所得之成果。但使用方法之不同，通常所得之預測有所不同，必需加以整理作綜合解釋。此時將天氣圖放於中心，使用各種方法，對大尺度大氣環流演變過程，作綜合解釋而預測未來天候。於「一個月預報指針」第三章第二節(82頁至115頁)中，舉例詳細說明現用之綜合整理之各種方法，請參閱之。

一般而言，大氣運動的本質是非線型。但長期預報方法，主要在線型假定上展開，因此預報變成有強烈平滑化結果。所以現在之長期預報對異常天候預報上，根本無法發揮有效效

果。尤其是近年來異常天候之發生次數增多，不能滿足社會上對長期預報之需求。此問題是長期預報改進上，迫切需要解決問題之一。

三、長期預報之種類

日本現行之長期預報種類及發佈日期列如表2。通常1個月以上之預報，總稱為長期預報。

表2：長期預報之種類及發佈日期

種 類	發 佈 日 期
1 個月預報	月末 每月10日
3 個月預報	每月20日
暖候期預報	每年3月10日
寒候期預報	每年10月20日

長期預報與短期天氣預報不同，通常做平均天候狀態預報。又長期期預報內容，隨預報種類之不同有所改變：

(1) 1 個月預報

1 個月分為上、中、下旬，做天候預報。

其內容包括氣壓分佈概況，及相伴之天氣特性，平均氣溫及降水量之分級預報。

(2) 3 個月預報

月平均天候之3個月預報，有時候可以分成前半個月及後半個月做預報。其內容包括大尺度氣壓分佈之變動概況，及相伴之天候特性，月平均氣溫及月總降水量之分級預報。

(3) 暖候期預報

預報4月至9月之天候特性。如春季天候，有沒有較晚期之降霜現象，入梅日期，梅雨特性，出梅日期，夏季氣溫特性，有無秋老虎，入秋日期，颱風發生次數及侵襲次數等預報。

(4) 寒候期預報

預報10月至3月之天候特性，如晚秋之天候，入冬之早遲，年末之天候，暖冬或寒冬預報，有沒有豪雪，入春之日期，有沒有春冷天候等預報。

四、長期預報業務改善答申 (建議案)

1. 長期天氣預報考核

一般而言，中緯度地區氣溫的長期預報較好，而降水量的預報較差。1977及1978年這兩年的日本關東地方，氣溫一個月預報成績，列如表3。

表3：1977，1978之關東地方氣溫一個月長期預報成績

預 報 方 法	上旬	中旬	下旬	平均
預 報	68	66	46	60
外 插 預 報	50	54	29	44
氣 候 預 報	48	43	53	48
隨機(randame) 預報	41	41	41	41

氣溫之一個月長期預報分級為，很高、較高、平常、較低、很低等五級，發佈的。預報正確時，以100分計。預報差一級時，以50分計。預報差兩級時，以零分計之。考核結果，上旬為68分，中旬為66分，下旬即降低至46分

，而月平均為60分。此結果與不需要預報技術之外插預報、氣候預報、隨機預報比較，略有10分之技術得分。1980年前後，長期預報成績，在60至70分間，是偏低。一般而言，成績應提高至75至80分，才可以得到社會上之需求。

2. 長期預報業務改善作業委員會之設立

1970年代，世界各地每年發生嚴重的異常天候多次，而受嚴重損失。因此對長期天氣預報之需求急劇增大，而其需求愈來愈增加多樣化，長期預報技術未能滿足社會之需求。因此1978年10月，於氣象廳預報部中，設立「長期預報業務改善作業委員會」。經多次討論後，於1979年3月提「長期預報改善建議案」(JMA, 1979)，設定長期預報改進之基本方針，及作業時間表。

3. 長期預報業務改善建議案

此建議案分為，長期預報技術改進，及資訊供應改進等兩部份。於此僅討論前者。現在之長期預報技術，主要分析廣範圍之500hpa天氣圖，作適當的統計處理而發佈長期預報，此方法為其主流。由此種方法之長期預報，未能滿足社會之需求，需要作長期預報方法之客觀化，提高預報之正確度。

大氣運動之本質是非線型的，此問題是增加長期預報改進上之困難。現在的長期天氣預報方法中，相關法、周期法、相關Synoptic法等，占有預報方法之相當大的部位。這些方法是假定線型理論之方法，因此大氣運動之非線型效應較卓越時，長期天氣預報會發生很大之偏差。與異常天候有密切關係之阻塞現象，有強烈非線型特性，在長期預報作業上，把握其動態是困難的。因此，長期預報客觀化之強力方法，可能是力學模式為基礎的數值預報方法。但是長期數值預報法，尚有可預測度問題、地表狀態模式化問題，艾尼紐(El Niño)/南方振盪(ENSO)問題，遙地相關等，必需解決之問題很多。容後作改進建議案簡介：

- (1)為執行副熱帶高氣壓動態、季風之動向、颱風之生成等預報之目的，加強低緯度地區之分析，改進長期預報法。
- (2)推進全球力學模式研究，開發客觀化長期預報方法。
- (3)對誘發異常天候之長生命史阻塞高壓，作大尺度立體分析，並推進類似法之立體化，開發客觀化預報去。
- (4)大尺度天氣型勢之邊界條件中，增加海水溫度及冰雪分佈之方法，開發類似法之客觀化。

(5)推進使用氣象衛星資料之全球性分析，對力學預報法供應較良好之初期值資料，並開發南北兩半球大氣環流之相互作用為基礎之預報方法。

(6)氣象研究所開發的，統計的一年預報法之作業化。

(7)地方之預報業務機構，依據氣象廳供應之各種預報圖及資料，開發地域特性之長期預報技術。

(8)該改進建議中，尚附有每年之研究主題時間表。而每年繼續召開全國長期預報檢討會一次，推進長期預報技術之開發。

五、「長期預報與大氣環流」月例會報告

長期預報業務改進建議案(JMA, 1979)，推行以來已將近10年，日本氣象學會召開月例會四次檢討其成果。討論會之標題為「長期預報與大氣環流」，召開日期，以及討論主題列如表4。

近年來，「艾尼紐／南方振盪」，簡稱ENSO，為發生異常氣象原因之一(Yasunari, 1987)，因而受重視。譬如今年艾尼紐誘致印尼和澳洲北部的乾旱，以及太平洋中部東部熱帶乾燥地區異常降水等。86/87艾尼紐為全球之大氣及海洋監視體系，充實後發生之頭一次艾尼紐，因而得到良好之觀測資料及分析成果。(Ando, 1988; Mori, 1988; Yamada, 1988; Watamabe, 1988; Yamagata, 1988)決定日本夏季天候之主要因素，有中緯度之西風帶之動向，鄂霍次克海高氣壓發展等因素以外，尚有低緯度之太平洋高氣壓動態之因素。而此副熱帶高氣壓之動態，與菲律賓附近之對流活動有嚴切關係(Tanaka and Miyazaki, 1988; Miyazaki, 1989)。相伴亞洲區域ENSO而生成之顯著現象，是菲律賓附近對流活動之顯著減弱，並在亞洲東部之西風帶於夏季至秋季，比較平均位置偏向南方。又副熱帶高壓比較平均偏向東方而其勢力加強，但向北方伸展狀態有較微弱之趨勢，而此日本附近之西風帶影響及鋒面活動，有增強之趨勢。已往ENSO發生年份，沒有暑夏年之發生。栗原弘一(Kurihara, 1988)主張，7月至9月之副熱帶

表 4：月例會「長期預報與大氣環流」召開日期及討論主題

日 期	討 論 主 題	文 獻
1987年12月2日	86/87 ENSO	JMS, 1988
1988年9月28日	中、高緯度對流層之長周期變動	JMS, 1989
1989年9月29日	冰雪與大氣環流	JMS, 1990
1990年9月21日	力學的長期預報之現狀和將來	JMS, 1991

動態預測上，菲律賓東方海平面溫度監視之重要性。

一般而言，中緯度大氣本身之內部變動，通常比較海平面水溫偏差等，邊界條件引起之變動較大。但對中緯度大氣之長周期變動機制，雖然觀測資料累積期間比較熱帶資料為長，其研究進展比較ENSO及30至60日振盪研究落後。近年來以天候體系（Weather regime, Planetary Flow Regime）或準定常狀態（Quasi-stationary State）之新觀念（Mukougawa, 1988; Mukougawa, 1991; Nitta and Tauyuki, 1991），對阻塞高氣壓等，中緯度大氣之長周期變動，加以研究。天候體系維持上，溫帶低氣壓等短周期擾動，扮演相當重要角色（Taguchi, 1989; Kimoto, 1989）。又於熱能南北輸送上，短週期擾動與準定常擾動間之相補性，是很主要。Kitoh (1988, 1989)使用氣象研究所大氣大環流模式(MRI-GCM)，對邊界條件之海面水溫偏差，取各種數值之數值實驗，使用EOF分析法，抽出日本暖冬天氣型勢預報模式，討論平均流動場與擾動之關係，及降水量之關係。中緯度大氣之長周期變動，看成複數天候體系間之遷移現象，是機率預報上的有利型態，是力學的一個月預報開發上的有利資訊（Kanagya, 1989; Kanaya, 1990），應該要有效的利用。

力學的長期預報，為世界氣候研究計劃(WCRP)，列為首要目標。即客觀化長期天氣預報之作業化，為目前長期預報迫切需要解決之問題。氣象廳經常作業之全球波譜預報模式(GSM)，於1989年11月14日起，作大幅度之修訂(JMA, 1990; Sato, 1991)。使用此模式

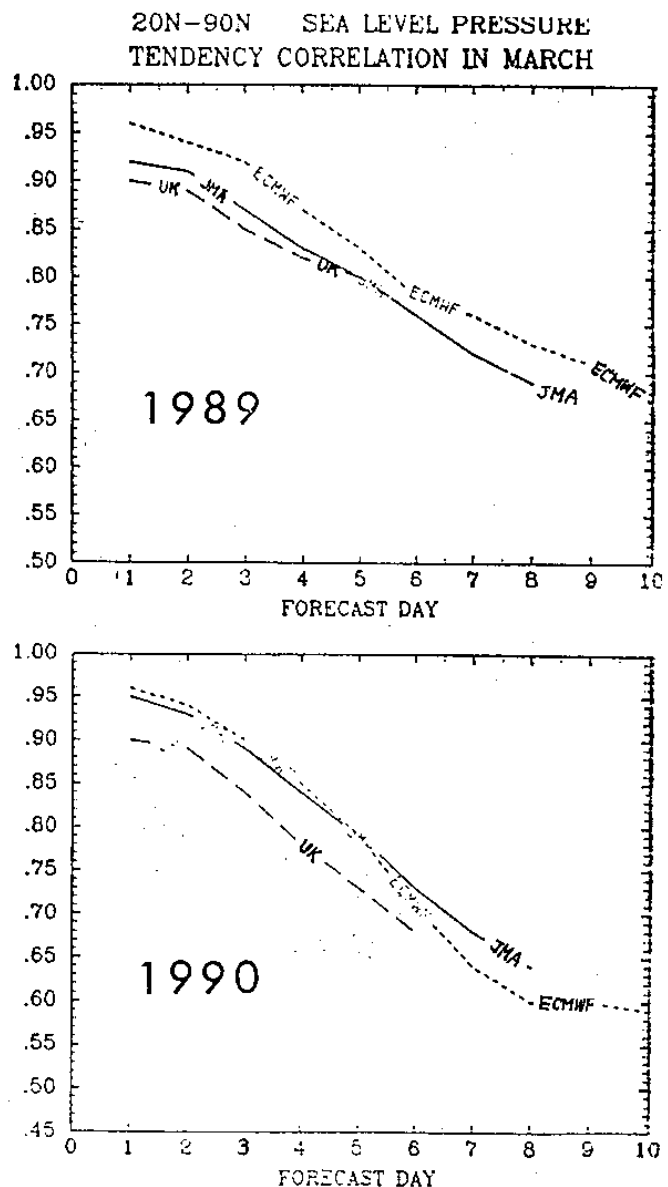


圖 1. 氣象廳 (JMA)，歐洲中期預報中心 (ECMWF) 及英國氣象局 (UK) 之預報正確度比較

Z500(ANAL) DATE:1988/ 1/30 - 2/28

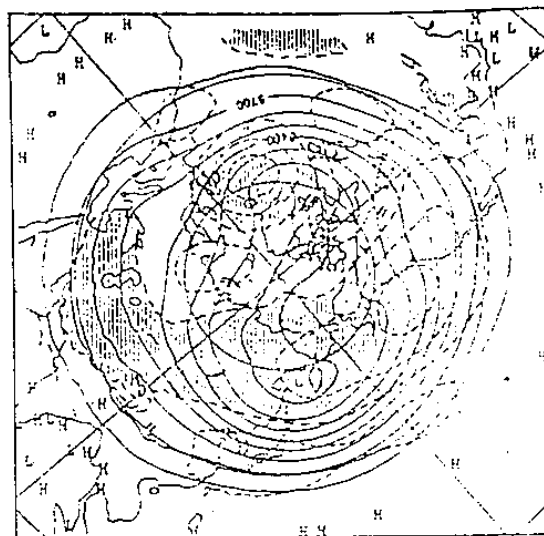
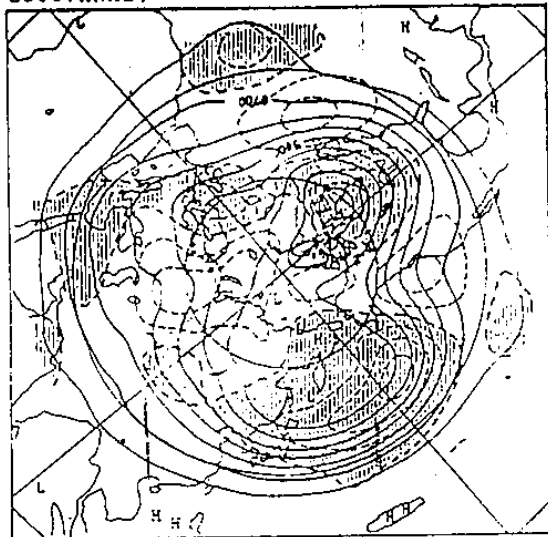


圖 2.

Fig 2. 1-30 day mean 500 hPa geopotential height (solid line) and anomaly (dashed line) for a poorly skillful case (February 1988) . Left : Verifying analysis. Right : lagged average forecast. Contour intervals and shadings are the same as in Fig. 6

Z500(ANAL) DATE:1988/12/30 - 1/28

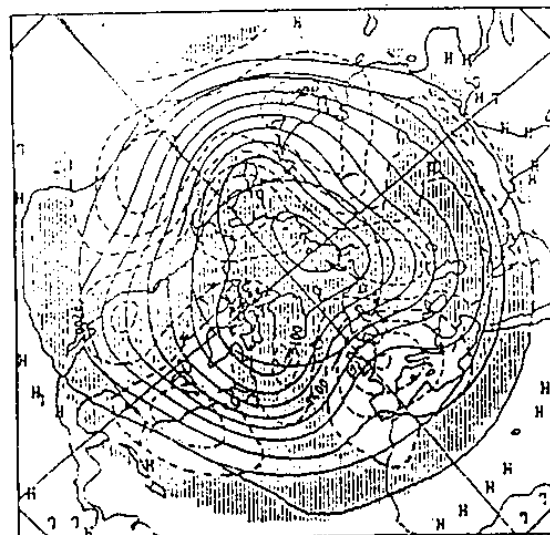
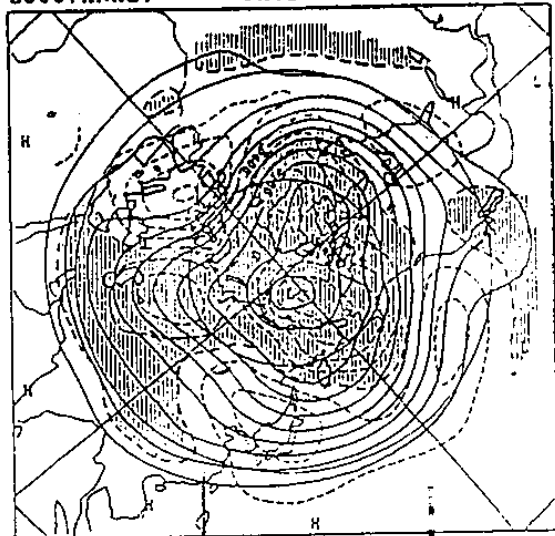


圖 3.

Fig 3. 1-30 day mean 500 hPa geopotential height (solid line) and anomaly (dashed line) for an extremely skillful case (January 1989). Left : Verifying analysis. Right : lagged average forecast. Contour intervals are 100m for full field and 50m for anomaly. Negative anomalies are shaded.

(JMA)之預報成績與歐洲展期預報中心(ECMWF)，及英國(UK)之預報成績，比較得如圖1中所示之結果。以長期預報而言，對地表之熱能及水理過程，採用植生模式(Simple Biosphere Models, 簡稱SIB; Sato et al, 1989)，可以提高地表及地表附近溫度、水份預報。例如積雪量及融雪預報，發生其效應。垂直坐標系由Sigma系改變成氣壓。Sigma混合系，改進平流層表現之正確度。Kodera (1990, 1991)以具體的數值預報實驗，證實平流層之相互作用效應，對流層一個月預報有很大影響。

依據大氣模式的數學分析得知，大氣的可預測度約為二週，而一個月預報超過，可預測度限度。為克服此困難Yamada et al (1991)使用時滯平均法(lagged average forecast; 稱簡LAF)，做力學的一個月預報實驗。1至30日平均北半球500hpa高度場距平相關係數，對八次實驗之平均為0.54，均方根誤差為55m。Iwasaki et al (1991)使用此方法，做GSM模式之14個月全球數值預報實驗，對地面氣壓分佈得到相當正確的氣候值，(圖2，圖3)，但對積雪預報需要再作改進。同時檢討大氣模式之季節變化，及季節內變動特性，以資模式改進之基礎資料。為客觀長期天氣預報作業之目的，使用MOS法將在不同季節之各種大氣型勢，求取數值預報偏差特性，以資實際長期預報作業之依據。

總之，目前日本之長期天氣預報，意望導進大氣運動之非線性特性，提高長期天氣預報正確度，開發使用全球波譜模式(GSM)之力學的長期預報方法。但此大氣模式之長期預報，有些季節變化，同時在同一季節內，初期值之大氣型勢之不同，可誘致相當大的預報上偏差。因此使MOS法，作數值模式產物之規則性偏差，及其定量估計，以資預報上之使用。又近年來研究顯示，菲律賓東方海面上對流活動及海面溫度，對副熱帶高壓之動態有顯著影響。因而重視西太平洋對流活動和ENSO狀態之監視，以資數值模式產物之修正，以開發客觀化長期預報法。

文 獻

- Ando, 1988; 安藤正：86/87 ENSO, 1.海況之特徵, Gross wetter, 26, 2.
- CWB, 1986; 中央氣象局：1個月預報法。
- Iwasake, H., 1991; 岩崎俊樹，隈健一，田宮久一郎，山田慎一，里田弘志，佐藤信夫：JMA GSM 之一年積分實驗，Gross wetter, 29, 2.
- JMA, 1971; 氣象廳：季節預報指針，上卷。
- JMA, 1972; 氣象廳：季節預報指針，下卷。
- JMA, 1979; 長期預報課（能登正元）：長期預報業務改善について。測候時報，46, 307-312。
- JMA, 1981; 氣象廳：一個月預報指針。
- JMA, 1990: Outline of Operational Numerical Weather Prediction at Japan Agency. Appendix to WMO Progress Report on Numerical Weather Prediction.
- JMS, 1988; 月例會報告「長期預報與大氣環流」—86/87 ENSO—，天氣，35, 20-22，日本氣象學會。
- JMS, 1989; 月例會報「長期預報與大氣環流」——中、高緯度對流層之長周期變動——，天氣，36, 158—160，日本氣象學會。
- JMS, 1990; 月例會報告「長期預報與大氣環流」——冰雪與大氣環流——，天氣，37, 137—140，日本氣象學會。
- JMS, 1991; 月例會報告「長期預報與大氣環流」——力學的長期預報之現狀和將來——，天氣，38, 49-51，日本氣象學會。
- Kanaya, 1989; 金谷年展：冬季Eurasia大陸上之天候 Regime 間之遷移過程，Grosswetter, 27, 2.
- Kanaya, 1990; 金谷年展：冬季天候 regime 間遷移過程之連鎖鎖形式，Grosswetter, 28, 2.
- Kimoto, 1989; 木元昌秀：北半球冬季之天候 regime, Grosswetter, 27, 2, 13-33.

- Kitoh, A., 1988: A numerical Experiment on Sea Surface Temperature Anomalies and Warm Winter in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 515-533.
- Kodera, K. and Yamazaki, K., 1990: Long-term Variation of Upper Stratospheric Circulation in the Northern Hemisphere in December. *J. Meteor. Soc. Japan*, 68, 101-105.
- Kodera, K., M. Chiba, and K. Shibata, 1991: 小寺國邦, 千葉長, 柴田清彦: 冬季平流層環流對平流層之影響效果, *Grosswetter*, 29, 2.
- Kurihara, 1988; 栗原弘一: 86/87 ENSO, 5. ENSO 與夏期之長期預報, *Grosswetter*, 26, 2.
- Miyazaki, Y. 1989: Characteristics of the Weather over Japan in El Niño Event Years. *Geophys. Mag.*, 43, 1-18.
- Mori, 1988; 森一正, 丸山健人: 86/87 ENSO, 2. 「夏島」による予觀測, *Grosswetter*, 26, 2.
- MRI, 1950, 1951; 氣象研究所竹平分室: 長期預想研究, 第1報, 第2報(1050), 第3報(1951)。
- Mukougawa, H., 1988: A dynamical model of "Quasi-stationary States in Large-Scale Atmospheric motions. *J. Atmos. Soc.*, 45, 2868-2888.
- Mukougawa, H., 1991; 向川均: 於大氣大規模運動之準定常狀態, *天氣*, 38, 185-194。
- Nitta, T. and Tsuyuki, T., 1991: Atmospheric Long-term Variations and their Prediction, I. Characteristic Features and Dynamics of Long-term Variations. *Tenki*, 38, 399-404.
- Sato, N., P. J. Sellers, D. A. Randall, E. K. Schneider, J. Shukla, J. L. Kinter III, Y.-T. Hou, and E. Albritton, 1989: Implementing the Simple Biosphere Models (SiB) in a General Circulation Model; Methodologies and Results. NASA Contractor Report 185509.
- Sato, N., 1991: The Current Status of Numerical Weather Prediction System in Japan (2) The Global Analysis and Forecast System in Japan Meteorological Agency, *Tenki*, 38, 11-31.
- Tagnichi, 1989; 田口彰一: 10日以下周期擾亂之10日平均移動速度變動, *Grosswetter*, 27, 2.
- Tanaka, Y. and Y. Miyazaki, 1988: The Relationship between Tropical Convection and Atmospheric Circulation around Japan in the Summer Months, *Geophys. Mag.* 42, 191-200.
- Watanabe, 1988; 渡邊典昭: 86/87 ENSO, 3. 全球大氣之特徵, *Grosswetter*, 26, 2.
- Yamada, S., S. Maeda, and T. Kudo, 1991: Dynamical One-Month Forecast Experiments with the JMA Global Prediction Model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 69, 153-159.
- Yamagata, 1988; 山形俊男: 86/87 ENSO, 6, ENSO現象之發生與預測, *Grosswetter*, 26, 2.
- Yasunari, T., 1987: Global Structure of the El Niño/Southern Oscillation. Part II, Time Evolution, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 81-102.
- 和田英夫, 1958: 日本的長期預, *測候時報*, 25, 356. 氣象廳。
- 廖學鎰, 1981: 近年來日本中長期預報研究評介, 異常氣候研討會論文彙編, 89-110, 中央氣象局。