

## 気象観測史的に見た高層気象台におけるジェット気流の発見

二 宮 洸 三\*

### 1. はじめに

1924年12月2日高層気象台（所在地：館野，現つくば市長峰）の台長大石和三郎等の測風気球観測により高度9 kmにおいて70 m/sに達する風速が観測された。この観測結果はエスペラント文（Ooishi 1926）で世界に向けて発表されたが，この報告は海外の論文に引用されず気象学史のなかではシカゴ大学（Staff Members 1947）の成果の影に埋没してしまった。Lewis（2003）は「高層気象台におけるジェット気流の発見」について気象学史的な紹介をしたが，当時の日本の事情については十分に言及していない。

本報告では，「ジェット気流の発見」が世界的に認知されなかった日本の背景的事情を調べる。

### 2. 高層気象台における高層風観測の成果

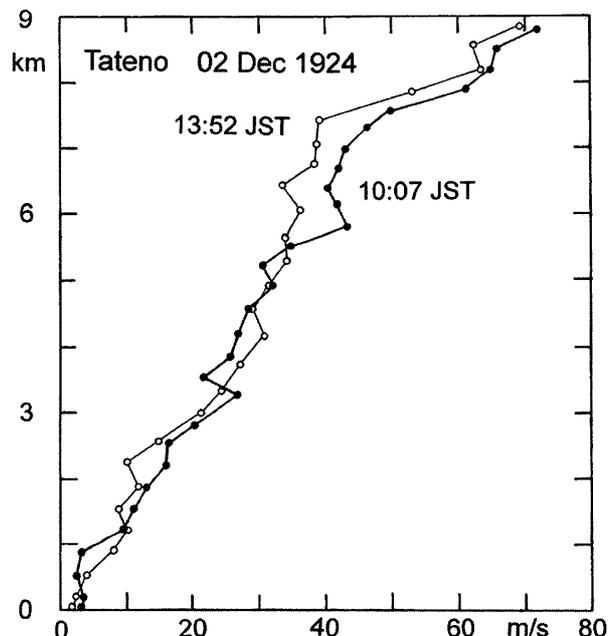
レーウィンゾンデが実用化される以前の高層風観測は測風気球観測によってなされていた。測風気球観測の方法は次の2方法に分けられる：

- 1) 気球の上昇速度を一定と仮定し，1地点から望遠鏡で追尾し，高度角，方位角から気球の位置を決定し位置の時間的変化から風速を算定する。
- 2) 基線の両端の観測点から気球の高度角，方位角を測定し気球の高度と位置を決定し位置の時間的変化から風速を算定する。

高層気象台では両方の測定法を使用しており，後者のために長大な基線を設けていた。当時の高層気象台については大石（1950）と北岡（1951）の紹介がある。

目視により測風気球を追尾する観測は雲に遮られない条件下でのみ可能である。晴天時に観測データが得られていたが，～10 kmにまで達した観測例は少ない。

1924年12月2日の中央気象台の地上天気図は寒気吹き出しの状況を示しており，晴天に恵まれ～9 kmに達する観測が行われた。Ooishi（1926）に記載されている1924年12月2日の10時07分（JST：日本標準時）および13時52分に飛揚された測風気球による観測データを記入した風速鉛直分布図を第1図に示す。両時刻共に，～9 kmにおいて～70 m/sの風速を観測してい



第1図 高層気象台における1924年12月2日10:07および13:52（JST：日本標準時）の測風気球観測で得られた風速鉛直分布。

\* Kozo NINOMIYA (無所属).

knino@cd.wakwak.com

© 2014 日本気象学会

る。なお ~3 km 以上では風向は ~270°であった (第 1 図には風向を示していない)。これが「ジェット気流の発見と言われている観測」である。大石 (1926) はさらに 1923 年 3 月 - 1925 年 2 月の観測データを用いて館野の上層風の季節的变化を調べ、冬期に上層風速が著しく増大することを示した。しかしこれらの報告では「ジェット気流」の概念や用語は提出されていない。

### 3. 日本における評価

高層気象台におけるジェット気流の観測の意義は海外では認知されなかった。では、日本国内ではどのように認識・評価されていたのであろうか。

中央気象台長であった岡田 (1949) の「気象学の開拓者」にはリンデンプルグ高層気象台設立と大石の留学の記述がある。さらに、「1926 年 8 月に岡田台長と藤原博士がリンデンプルグ高層気象台を訪問 (視察・見学) した」と記しているが、折角の機会なのに館野における発見を紹介したとは述べていない。

岡田・荒川 (1956) の「世界気象学年表」にもリンデンプルグ高層気象台設立と大石の留学の記述があり、大石台長が pilot balloon を「測風気球」と和訳した事も記されているがジェット気流観測の記述はない。この書物において岡田は海外の気象学史を適切に記述しただけでなく、北尾次郎教授の「大気の運動と颶風の理論：1887 (独文)」, 藤原咲平博士の「大気中の音の異常伝播の研究：1914 (英文)」, 堀口由己博士の「颶風のエネルギー論：1932 (英文)」, 中谷宇吉郎教授の「雪の人工結晶：1936 (英文)」などの日本の「アカデミックな研究」を適切に紹介している。これらの記述と比較すると岡田は「現場における観測的発見」については無関心であったように推察される。なお、同書の荒川の補筆部分には大石の観測が記され、それが海外では無視されたと記されている。

日本の書籍の中では正野 (1958) の「気象学総論」の記述が最も正確であるので、それを引用する；「以前から大気大循環の研究により中緯度では偏西風が卓越し、風速が高さと共に増加していることが知られていた。Pepler (1919) はリンデンプルグにおける観測データを統計して偏西風の最も強い高さ  $H_m$  と圏界面の高さ  $H_i$  との間に  $H_i = (4/3)(H_m - 2.0)$  km の関係があることを示した。高層気象台の観測によって上層の偏西風の状態はかなり良く分かっていたが、観測点は館野だけであり風速の水平分布は分からな

かった。第 2 次世界大戦中、日本上空で米軍機がしばしば 100 m/s に及ぶ強い西風帯に遭遇した。この強い西風帯は狭い範囲に限られていたので、後にシカゴ大学研究グループ (1947) によって「ジェット気流」と名付けられた。」

気象百年史 (気象庁 1975a) には高層気象台と高層気象観測の変遷について詳しい記述があるが、ジェット気流発見やデータについての記述は無い。

高橋ほか (1987) の「気象学百年史」には高層気象台設立 (初代大石台長) および大石による上空の強い偏西風発見についての簡潔な記述がある。

饒村 (1998) の解説が「気象」に記載されているが、「当時は対流圏上部での強風が知られていなかった」とする記述は、正野 (1958) に比較して不正確である。また「日本の高層気象観測は世界でも先進的であった」の評価は過大である。当時の観測機材の多くは海外からの輸入品であり、高層観測点は 1 地点だけであった。先人の業績を尊敬すべきであるが「轟轟の引き倒し」になってはならない。

水野 (2014) も日本の高層観測の科学史を記しているが、大石の観測が海外で評価されなかった経緯・事情については触れていない。

本報告では、前記の報告とは異なる観点から日本の

第 1 表 大石台長の経歴.

1874 (明治07)	佐賀県で誕生
1898 (明治31)	東京大学卒業
1899 (明治32)	中央気象台に勤務
1900 (明治33)	統計課長, 03年観測課長
1911 (明治44)	ドイツ出張, 13年帰国
1919 (大正08)	アメリカ出張, 20年帰国
1920 (大正09)	高層気象台長
1926 (昭和01)	ジェット気流の報告
1929 (昭和04)	高層気象委員会出席
1943 (昭和18)	退職
1950 (昭和25)	死去

第 2 表 岡田台長の経歴.

1874 (明治07)	千葉県で誕生
1899 (明治32)	東京大学卒業
1899 (明治32)	中央気象台に勤務
1904 (明治37)	予報課長
1920 (大正09)	神戸海洋気象台長
1923 (大正12)	中央気象台台長
1941 (昭和16)	退職
1956 (昭和31)	死去

高層気象観測史を議論する。最初に明治後期～昭和初期の時代環境に触れる。気象百年史資料編（気象庁1975b）に記録されている大石台長と岡田台長の履歴を第1および第2表にまとめ、彼等が活躍した年代の歴史的背景を第3表に記す。

大石台長は第1次世界大戦前に当時の高層気象観測の先進国の一つであるドイツに出張しリンデンプルグ高層気象台に滞在し、大戦後にはアメリカに出張して高層観測についての情報を収集している。彼は1929年には高層気象委員会に出席しているが、その機会に「ジェット気流観測の成果」をどのように報告したの

かは不明である。

1937年に日中戦争が始まり、1941年には太平洋戦争が始まり、気象データや調査結果は機密扱いにされた。戦争末期、日本軍は「気球爆弾」を飛揚させ上層の西風に流させてアメリカ本土を攻撃した。その実施に先行して北太平洋上の上層気候図が作成されたが公表されることはなかった。これについては、戦後Arakawa (1956) が英文の短い報告を書いている。

4. 気象学史的背景

高層気象台の観測に関しての気象学史的背景を考察したい。第4表には各国家気象機関と気象学会の設立の歴史を、第5表には高層観測の発展の経緯を、第6表には総観規模現象・大気大循環に関わる研究の発展の経緯を纏めた。これらの資料は岡田 (1949)、岡田・荒川 (1956)、気象庁 (1975a, b)、高橋ほか

第3表 大石台長の時代的背景.

1904-05	日露戦争
1914-18	第1次世界大戦
1931-32	満州事変・上海事変
1937-45	日中戦争
1939-45	第2次世界大戦 (欧州)
1941-45	第2次世界大戦 (太平洋戦争)

第4表 国家気象機関と気象学会の設立.

1823	ロンドン気象学会⇒1884 RMS
1854	イギリス気象局
1855	パリ気象台
1865	オーストリア気象学会
1870	アメリカ気象局
1873	第1回国際気象会議⇒1950: WMO
1875	東京気象台⇒1887 中央気象台, 1956 気象庁
1882	東京気象学会⇒1888 大日本気象学会, 1941 日本気象学会
1883	ドイツ気象学会
1919	アメリカ気象学会

第5表 高層観測の発展.

1800~	有人自由気球飛揚
1880~	アルプス等 山岳気象観測所設立
1883	凧による測風 Archibald
1892	記録回収方式無人気球観測 Hermite 等
1893	測風気球 Kremser 等
1896-7	雲年: 雲の運動から上層風推定, 日本不参加
1902	凧による高層観測 Dines
1905	Lindenberg 高層気象台設立
1906~	各国で高層観測所設立
1920	館野に高層気象台設立
1927	各国でラジオゾンデ開発
1935	2月15-17日, 欧州低気圧の一斉高層観測
1946	ロケットによる高層観測
1950~	世界の高層観測網の拡充

第6表 総観気象, 大気大循環などの研究.

1805	測高公式 Laplace
1820	最初の天気図解析 Brandes
1855	黒海低気圧の解析と予測可能性 Leverier
1856	地球の風系 (転向力の作用) Ferrel
1891	山岳データによる高気圧の構造 Hann
1902	成層圏発見 de Bort, Assmann
1903	低気圧の風系・循環 Shaw
1903	低気圧の発達と位置エネルギー Margures
1916	地衡風の名称 Shaw
1921	オゾン層の発見 Fabry, Buisson
1921	ポーラーフロント V. Bjerknes
1922	低気圧の構造 J. Bjerknes, Solberg
1922	数値予報の試み Richardson
1924	ジェット気流の観測 大石 (発表は1926)
1927	気団の概念 Bergeron
1939	惑星波 (ロスビー波) Rossby
1944-5	日本軍気球爆弾の飛揚
1944-5	米軍 B29 ジェット気流と遭遇
1946	電子計算機による数値予報 Neumann 他
1946	大気大循環の室内実験 Fultz
1947	傾圧不安定 Charney
1947	大気大循環の解析 シカゴ大学グループ
1954	大気大循環の解析 MIT グループ
1953-4	米空軍 定高度気球観測
1955	有効位置エネルギー Lorenz
1955	数値予報 (米国) Cressman 他
1956	大気大循環数値実験 Phillips
1960	極軌道気象衛星 (米国)
1964	大気大循環モデル Mintz, Arakawa
1965	大気大循環モデル Smagorinsky, Manabe
1966	静止気象衛星 (米国)
1967~	WWW 計画 (世界気象監視計画)
1970~	GARP (地球大気研究計画)

(1987), 東京天文台編 (1987), Palmen and Newton (1969), Sorbjan (1996) によるものである。

日本における国立気象機関と気象学会の設立は西欧に比して大きく遅れていたわけではないが (第4表), その研究活動はまだ不活発で, 高層気象台の観測結果は検討されなかった。

世界の山岳観測所観測・高層気象観測は1880-1930年代に急速に発展し (第5表), 総観規模現象・大気大循環に関わる研究も1890-1930年代に大きく発展している (第6表)。館野における上層の強風の発見は時代的に早く突出したものではなく, タイムリーな発見であったのに世界的に認知されなかった。

### 5. ラジオゾンデとラジオトラッキング測風

気温・湿度の鉛直分布の観測はまず有人気球飛揚によって始められ, ついで風・気球に気圧・気温・湿度の自記記録装置を装着し回収する方式が採用された (第5表)。高層気象台でも1925年に自記気象計つきの測風気球観測を開始した。

1927年には各国でラジオゾンデが開発された。気象庁 (1975a) によれば日本におけるラジオゾンデ観測は中央気象台によって進められ, 実験と実用テストは主として布佐出張所 (我孫子市布佐) で実施された。ラジオゾンデ観測には長大な基線は不必要であり, 中央気象台から近距離の直轄出張所が実験・実用テストには便利であったためであろう。

ラジオゾンデの常時観測は, 1938年に布佐, 福岡, 富山において開始され, 1943年には11地点に増加された。1944年には一部地点の変更があり, やはり11地点で観測がなされていた。高層気象観測の専門官署であるにもかかわらず高層気象台におけるラジオゾンデ常時観測は非常に遅れ1944年9月 (大石台長の退職は1943年) に開始された。遅れた理由は不明である (資料には記されていない)。

大戦前から発信器を付けた気球を電波で追尾するレーウィン (無線測風) 観測は, 中央気象台や日本軍が開発した無線追尾機器を使用して始められた。高層気象台におけるレーウィン観測は1948年に開始された。当時の機器の測定精度は不十分で, 特に低高度角では高度角の誤差が大きく, これを克服するため高層気象台では「リレー観測」(2地点で観測を引き継いで低高度角時の測定を回避する) も試みられたが, 常時観測には採用されなかった。

この高度角測定誤差は1955-57年における米国製の

追尾機器 GMD-1 の導入により改善された。IGY (国際地球物理年: 1957-58年) の高層気象観測はこの機器に依った。しかし, どのようなデータを IGY に提供したかは気象庁 (1975a) には記述されていない。その後 GMD-1 は国産の改良型 D55A に変更された。

なお日本 (気象庁) の高層気象観測データを収録した “Aerological Data of Japan” は1947年7月から刊行されている (近年のデータは CD-R に収録されている)。

### 6. 日本の高層観測データの活用

当時, 中央気象台の観測は実況監視・予測への活用を主目的としており, 研究への利用は副次的であった。20世紀初期, 欧州の山岳観測所のデータは多くの研究に利用され (第6表), 高層観測の充実を促進させた。日本では山岳観測所の観測データが研究に活用されることなく, その業務を終えている。館野1地点の観測であっても「高度-時間断面解析」と地上天気図解析を組み合わせれば, 偏西風波動 (トラフ・リッジ) の研究は可能であったはずだが, 実行されていない。

データ情報や研究成果の海外への発信も不十分であった。大石の発見以後も高層気象台の観測データに基づく解析・調査報告は「高層気象台彙報」に幾編か掲載されているが海外では知られていない。

シカゴ大学 (Staff Members 1947) およびそれ以後のジェット気流に関連する研究の成果の概要は Reiter (1967), Palmen and Newton (1969), Newton and Holopainen (1990) などに纏められている。これらの文献から日本の高層観測の海外へのインパクトを探ってみよう;

Staff Members (1947) の解析には北米および欧州のデータが使用されている。

Namias and Clapp (1949) は北半球のジェット気流を解析している。彼らは米国気象局および米軍が共同で編纂した1943年までの観測を集めたデータセットを使用している。彼等の論文の第7図に1月の平均ジェット気流の位置が示されている。日本近傍の135°E ではジェット軸は ~23°N に位置し, 平均風速は122マイル/時 (~55 m/s) である。この緯度は現在知られている位置に比べ著しく南偏しており, 風速も過小であるのは, このデータセットが日本の観測資料を取り込んでいないためである。

1945-46年冬季の中国上空のジェット気流の解析は Yeh (1950) によってなされた。この解析では長江周辺・中国南部のデータと沖縄および硫黄島のデータが使用されているが日本のデータは使用されていない。

1950-51年の日本近傍のデータに基づくジェット気流の解析は Mohri (1953) によってなされた。Yeh (1950) と Mohri (1953) の解析期間は異なるが彼等の解析により東アジアのジェット気流の概観が示された。

Krishnamurti (1961) は1955-56年冬季の北半球の200 hPa におけるジェット気流の解析を行った。この解析には日本の高層観測データも使用され、日本上空 (~140°E/~35°N) で150ノット (~75 m/s) を超える強風コアの存在が示されている。なお、Yeh (1950), Mohri (1953), および Krishnamurti (1961) の解析はいずれもシカゴ大学でなされている。

記述が前後したが、多くの研究は、上空のジェット気流は、中高緯度のポーラー前線に伴うポーラージェット気流 (~500-300 hPa) と、相対的に低緯度側にあるハドレー循環に関連する亜熱帯ジェット気流 (~200 hPa) に大別されることを示している。前者は温帯低気圧・前線の変動と共に著しく変動するが、後者は比較的定常的に存在する。したがって月平均場や季節平均場で見ると亜熱帯ジェット気流が明瞭に現れ

る。各時刻の高層天気図では、両者が分離して解析されることもあり、あるいは、両者が合流して著しい強風核を形成する事もある。第2図は冬季における亜熱帯ジェット軸の位置とポーラージェット軸の存在範囲 (斜線域で示す) の概念モデル図である (Riehl 1962)。日本付近はポーラージェット気流が最も南に、亜熱帯ジェット気流が最も北に位置し両者が合流しやすく強い西風が出現する領域である。これに対し西欧域では両ジェット気流が分離しており比較的风速も小さい。これも Ooishi (1926) の観測が理解されなかった理由の一つであったであろう。

ジェット気流は単に風速分布のみに注目すべきではない。大気大循環との関連において力学的機構を理解しなければならないが、本稿ではこの問題には触れない。

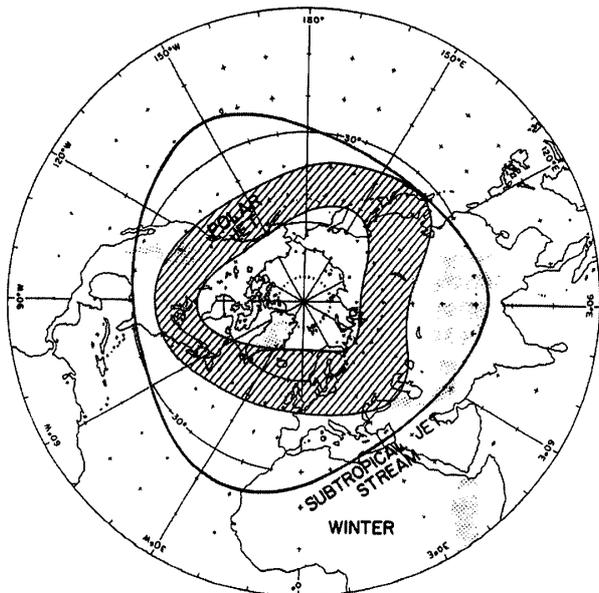
7. まとめと感想

1950年に WMO が設立され、主要な観測データは「WMO 気象通報式」により世界的に通報・交換され、気象監視・予測に使用されると同時に多くの研究にも活用された。さらに近年では客観解析データや再解析データが研究に利用されている。

しかし、日本の20世紀前半の高層観測の原データを容易に閲覧・利用できない。日本では観測業務は正確に遂行されているが、データ公開は十分ではなく、特に業務中止後にはデータの所在さえもつかみ難い。過去の気象・気候を調べるためにこれらの高層観測データの容易な閲覧と、観測履歴の記録 (例えば香川 (1983) のような) の整備が望まれる。

多くの観測資料が国際語として通用しない日本語で報告されていることは世界への情報発信においては非常に不利である。中央気象台・気象庁の刊行物の多くは日本語で書かれており海外への情報発信手段としては機能しないし、国内でも広く流通していない。日本気象学会でも和文誌と欧文誌を刊行しているが、和文誌は海外では読まれていない。(現在でも報告を国内向けに日本語で書くと海外では読まれず、英文で書くと国内の読者に不便でありジレンマに悩ませられる。両方で書くことは二重投稿として許されない。)

大石はエスペラント文で「館野上空の強風」を発表したが、むしろ英・独・仏文の使用が有効であったであろう。報告の形態がデータ集なのか研究報告かが不明瞭であったことも注意を引かなかった原因の一つだったと推測される。関連研究者に個別に別刷りを送



第2図 Riehl (1962) が示した冬季北半球における亜熱帯ジェット気流の平均的位置 (太線) とポーラージェット気流の存在域 (ハッチ域)。Palmen and Newton (1969) の Fig. 3.9から引用。

るなどの情報発信も必要であったであろう。

しかし「館野における上層の強風の発見」が世界的に認知されなかった最大の背景的原因は1920-30年代の日本気象学界の活動が不十分で、貴重な観測成果を評価できず研究の萌芽を育てられなかったこと、および、日本（まだ科学の先進国でなかった）発の情報が海外の関心を引かなかつたこと、にある。このため「大魚を釣り落とした」ことは非常に残念である。

### 謝 辞

2013年11月、長峰会（高層気象台 OB 会）からのお誘いを受け「館野におけるジェット気流の発見」についてお話する機会を得た。この報告はその要旨をまとめたものである。その機会に高層気象台を見学し、過去のデータ記録の所在を知ることができた。説明してくださった高層気象台の皆様にご礼を申し上げます。

### 参 考 文 献

- Arakawa, H., 1956: Basic principles of the balloon bomb. *Pap. Meteor. Geophys.*, 6, 239-243.
- 香川 聖, 1983: 統計の接続性と測器等の変遷. 日本気象総覧 下巻, 東洋経済新報社, 1009-1035.
- 気象庁, 1975a: 気象百年史. 740pp.
- 気象庁, 1975b: 気象百年史資料編. 442pp.
- 北岡龍海, 1951: 大石和三郎先生の逝去を悼む. 高層気象台彙報, 5, 100-101.
- Krishnamurti, T. N., 1961: The subtropical jet stream of winter. *J. Meteor.*, 18, 172-191.
- Lewis, J. M., 2003: Ooishi's observation: Viewed in the context of jet stream discovery. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 357-369.
- 水野 量, 2014: 高層気象観測の意義と歴史. 気象研究ノート, (229), 1-20.
- Mohri, K., 1953: On the fields of wind and temperature over Japan and adjacent waters during winter of 1950-51. *Tellus*, 5, 340-358.
- Namias, J. and P. F. Clapp, 1949: Confluence theory of the high tropospheric jet stream. *J. Meteor.*, 6, 330-336.
- Newton, C. W. and E. O. Holopainen (ed.), 1990: *Extratropical Cyclones*. Amer. Meteor. Soc., 262pp.
- 饒村 曜, 1998: 黎明期の高層気象観測. 気象, 42(4), 40-44.
- 岡田武松, 1949: 気象学の開拓者. 岩波書店, 308pp.
- 岡田武松, 荒川秀俊, 1956: 世界気象学年表. 地人書館, 229pp.
- Ooishi, W., 1926: Raporto de la Aerologia Observatorio de Tateno. *Aerol. Obs. Rep.*, (1), 213pp. (in Esperanto).
- 大石和三郎, 1926: 館野上空に於ける平均風. 高層気象台彙報, (2), 1-22.
- 大石和三郎, 1950: 長峰回顧録. 高層気象台彙報, 特別号付録, 2-73.
- Palmen, E. and C. W. Newton, 1969: *Atmospheric Circulation Systems*. Academic Press, 601pp.
- Reiter, E. R., 1967: *Jet-stream Meteorology*. Univ. Chicago Press, 515pp.
- Riehl, H., 1962: Jet streams of the atmosphere. *Tech. Rep. No. 32*, Dept. Atmos. Sci., Colorado State Univ., 117pp.
- Sorbjan, Z., 1996: *Hands-on Meteorology*. Amer. Meteor. Soc., 306pp.
- Staff Members of the Department of Meteorology of the University of Chicago, 1947: On the general circulation of the atmosphere in middle latitudes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 28, 255-280.
- 正野重方, 1958: 気象学総論. 地人書館, 356pp.
- 高橋浩一郎, 内田英治, 新田 尚, 1987: 気象学百年史. 東京堂出版, 230pp.
- 東京天文台編, 1987: 理科年表. 丸善, 1007pp.
- Yeh, T.-C., 1950: The circulation of the high troposphere over China in the winter of 1945-1946. *Tellus*, 2, 173-183.