

最近の海外誌にみられる総観気象の動向

毛利 圭 太 郎

は し が き

最近の総観気象 (synoptic meteorology) で取扱う範囲はかなり広い。半球全体にわたる大規模の現象から雷雨やトルネードなどの meso-scale の現象まで、新しい観測資料の充実とともに、つぎつぎに研究範囲がひろげられている。ことに数値予報、雲物理、レーダー気象などの発展につれ、それらとの関連した分野の解析が行われているため、ますます多岐多端になる傾向がある。しかし、ここでは本来の意味の総観気象の分野について展望をこころみることにする。

もともと総観気象の方法は、はじめに大前提をもちだして快刀乱麻をたつ式に論じてゆくのではなく、一つ一つの case study をつみ重ねて、このなかから一般的なもの普遍的なものをつかみだそうというものが多い。つまり多分に帰納的な色彩がこい。したがって総観気象の最近の論文を紹介するにしても case study のものが多くなるが、それは単なる case ではなく一般に通ずる case と解釈して紹介するわけである。もちろん case study によって決定的な一般性をみちびくにはほう大な研究を必要とすることは当然であって、一つ二つの case から一般に通じるものをくみとるにも限度があり、その意味では一種の素材提供のかたちともなるわけである。

いままでの総観気象の研究をみると未知の現象、未知の領域への探求という形で行われたものが多い。したがって新しい観測資料は新しい進歩をもたらしている。最近の海外誌をながめてみてもこの感は深い。たとえば成層圏のジェット流の研究など、地上 20km とか 30km までの実測風が確実にえられるようになってはじめて可能のことであるし、中国大陸上の高層解析にしても何年かの資料の蓄積があってはじめてできることである。一方、レーダーの進歩が meso-scale の研究に大きな資料を提供しつつあって、台風、ハリケーンを含めての雷雨、不安定線、トルネードなどの meso-meteorology は急速に進展している。この meso-scale の現象を数値予報にいかに取り入れるかはさし当っての大きな問題であろう。

いか、大規模の現象と小規模の現象とに分けて述べて

みよう。筆者の不勉強のため海外誌の主なものだけしか見る余裕がなかったので、特殊な雑誌にのったものにはふれていない。まず、下層成層圏および上層対流圏に関連した問題からながめてみよう。

1. 下層成層圏および上層対流圏に関連した問題

1.1 概 観

最近、成層圏まで確実な実測風がえられるようになったし、また上層対流圏の飛行機観測の資料がふえてきたため、成層圏内のジェット流、tropopause、上層対流圏の upper front などに関していくつかの論文がみられる。ことにカナダ上空 25km 内外にある冬季の arctic stratospheric jet stream の解析は、その成因がオゾン層に関連している点で興味がある。

航空の問題に関連して太平洋のジェット流がとりあげられている。何といても資料のないことが最大の悩みであるが、この問題は日本としても重要な問題である。

また放射能汚染の問題と関連して定高度気球による上層風の解析がある。この方法は上層対流圏の研究に多くの知識をもたらすことは確かであり、また放射性物質そのものを追跡して大気環流をしらべようという方向へも進展している。

熱帯上空 200~100mb に観測される easterly jet もわれわれには興味深い問題である。大循環的にどう説明すべきか、また台風の発生などに関係があるのかどうか、これらの点はまだ今後に残されたことである。

1.2 WMO から出版されたジェット流の総合報告

まず最初に 1958年に国際気象機関 (WMO) の Technical Note の 19号として発行されたジェット流に関する総合報告¹⁾を紹介しよう。これは WMO の高層委員会の依頼により C.W. Newton が編輯委員長となり、R. Berggren, W.J. Gibbs とともに最近のジェット流に関する観測事実をまとめたものである。Newton はアメリカ人、Berggren はスウェーデン人、Gibbs はオーストラリア人であるから、編輯は広い目で行われている。

ジェット流に関してはさきにアメリカ気象学会の monograph として出版された Riehl *et al* による総合報

告があるが、Riehl のものは追加訂正の章をいれても1953年までのものであるから、今度の Newton の方が1957年までの新しい資料を扱っているわけである。取り扱い方もすこし違っている。巻末には38頁にわたる538の文献のリストがあり、この方面に興味をもたれる方には知識を整理するのに役立つことと思われる。内容はつぎのとおりである。1. 緒論、2. 風および温度場の一般の性質、3. ジェット流の平均循環および気候学、4. ジェット流と synoptic system との関係、5. ジェット流の水平断面、6. 垂直方向の風の変化、7. 晴天のタービュレンスとジェット流、8. 雲とジェット流、9. ジェット流航法。

よんでみるとつぎのような点にきがつく。まずデータの処理法にとくに注意をはらっている。とくに飛行機観測の資料はそうである。また、ジェット流の観測される地域としてつぎの5つをあげている。1. 熱帯、2. 両半球の緯度30度ふきん、3. 両半球の緯度40°と60°との間、これに加えて subpolar region の高いところにもジェット流が観測される。これらの地域におこるジェット流はそれぞれつぎのようになる: equatorial jet, subtropical jet, polar front jet および high-level stratospheric jet in subpolar region.

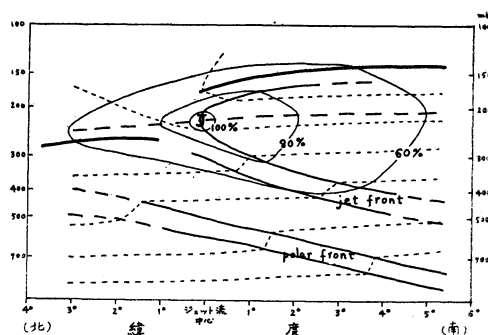
さて、第二次大戦末期から戦後にかけてジェット流の発見、それにつづく Rossby をはじめとする理論的な説明を行つた時期は、はなばなしかっただけにそれ相当の一段階を画した。これによってジェット流は一応わかったところまで達したわけである。大循環に対しても新しい考え方を提起し、近代大循環論の樹立に大きく役立ってきた。しかしながら、飛行機観測の資料の充実、定高度観測気球や上層風の資料の増加にともなうて、しだいにこんとんとした第二段階へとはいつてきた。ふたたびジェット流はわからないという声がかきこえるようになった。これと前後して Charney をはじめとする数値予報の急速な輝やかなしい発展がおこなわれたので、ジェット流に関する研究はしばらく資料のつみ上げという時期に入らざるをえなかった。Newton のこの総合報告はこのようにこんとんの第2段階の状況をつたえるものであるとみることができよう。このような系統だてた総合報告はついできたるべき発展のための一つの足場となることは間違いない。

1.3 Endlich, McLean などによる jet front のモデル

観測資料の整理という点で、ぼう大な飛行機観測をま

1959年2月

とめた Endlich および McLean の報告^{2),3)}も興味あるものである。すでに Riehl および Maynard によって1952~53年の冬の観測をまとめた報告もあるが、Endlich および McLean のものは1953~54, および1954~55の冬の観測をまとめたものである。Project Jet Stream による B-29, B-47の観測をまとめ、それらからジェット流の平均的な構造をモデルにして描き出している。この報告の中で注目すべきものは“jet stream front”あるいは簡単に“jet front”と名づける現



第1図 ジェット流のモデル
細実線: 等風速線 (中心風速のパーセント)
点線: 等温線 (模図的)
太実線: トロポポーズまたはフロント
太破線: 最強風の高度

象を述べていることである。この jet front はジェット流の真下にあらわれ、風のシアと温度傾度の集中した領域で上、中層対流圏で最もいちじるしく、必ずしも下層対流圏には達していない。そのモデルを第1図に示す。この種の上層の front はすでに Reed, Sanders, Saucier, Raethjen などによっても部分的には指摘されているし、筆者も極東における断面図解析から指摘し subtropical jet にともなつたものを subtropical front と呼んだ。

Endlich によると総計65回の観測からえられた“中緯度の jet stream”の特徴はつぎのとおりである。

- (1) ジェット流の北側で tropopause の不連続がある (高さは少なくとも1 km 以上、南北 200km 程度)。
- (2) ジェット流の中心部の風は 100ノットをこえ、北側で緯度 1.5度、南側で緯度 2.5度で、風速は中心風速の80%にへる。
- (3) ジェット流中心の下から南方へ、高度をさげながらのびてゆく温度場の安定層 (jet front) がある。この jet front では isentrope と isotach が front の境界

にそって走る傾向があり、水平温度傾度と垂直、水平風速シアはこの front の中で集中している。

(4) 中緯度ジェット流の下方の polar front は位置をかえるが、平均的には polar front が 500 mb 面とまじわったところがジェット流の中心の真下にある。

なお、湿度観測をまとめるとジェット流の北側では乾燥しており、南側では湿っている。jet front のところで湿度の傾度をもっとも強くなっている。この現象は予報関係者にとってはきわめて興味ふかいことである。それは、雲の分布が第2図のようにになっていることと関係

て行って、上層雲の高度に達してはじめて凝結するのだろうかといわれても納得する人は少いに違いない。まずもっともらしい説明としては、温暖前線面にそう上昇気流がおそらく上層雲をつくるのだろうかとか、雷雲の上部に生ずるカナトコ雲が流されてできるのだろうかというようなものである。しかし、上層雲だけできてまた消えてしまうことのあるのはどうしてだろうかということになると、どうも納得がゆかない。

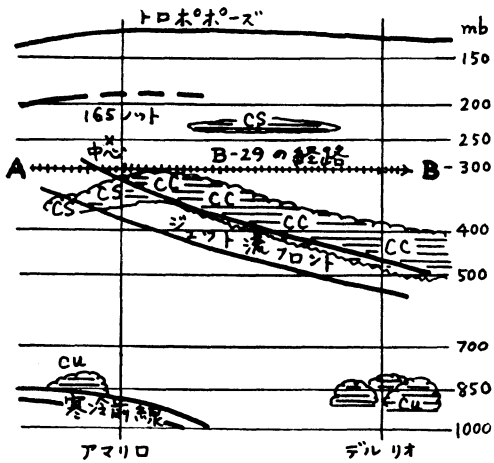
Endlich や Mc Lean の報告はこのような疑問に対して一つの手がかりを与えてくれるような気がする。jet front の成因はまだ解決されないにしても、jet front にそって上層雲があらわれるということ指摘したのは一つの収穫である。われわれはこのような観測資料がさらにつみ重ねられてゆくことを期待したい。

1.4 Easterly jet

夏季、熱帯の上空で easterly jet のあらわれることは前から知られていたが、最近詳しい解析が Tellus 誌にのっている。一つは大西洋西部からカリブ海にかけての Alaka の解析⁴⁾で、もう一つはインド上空の Koteswaram の解析⁵⁾である。

Alaka の解析した easterly jet は 200mb 内外、Koteswaram の解析した jet は 150 ~ 100mb 付近のものでとも夏季のものである。中心風速は70 ~ 100 ノット程度で中緯度の westerly jet よりは弱いようである。大西洋では北緯 25 度付近、印度では 15 度付近のものが取扱われている。Alaka は easterly jet は温度場とはとくに関係がないと述べているが、Koteswaram は 関係があると述べている。この点についてはさらに多くの case study によって確かめる必要があると思われる。Alaka は上空の easterly jet と下層の easterly wave とが関係があるらしいと述べているが、Koteswaram は easterly jet はアジアの大陸と海洋の分布、ならびにチベット高原からの熱の供給によってできたものではないかと述べている。

もともと tropics の大気循環については、中緯度ほどははっきり分っていないから、easterly jet の成因について今すぐ結論をだすことは困難と思われる。観測資料も不足であるが、また研究報告の数も少ない。われわれにとっても夏のモンスーンや熱帯低気圧の発生と関係があるのかわからないのが知りたいことが沢山ある。とくに気になるのは Koteswaram が太平洋や大西洋の海上で easterly jet が観測されないと述べていることである。果してそうだろうか。かって Vuorela は大西洋上の船の



第2図 B-29 による観測 (1954, 3月30日) ジェット・フロントに伴う雲の分布を示す。

があるからである。第2図は1954年3月の1例であるが、jet front の上端にそって cirrus がでている。またこの上層雲は中層雲や下層雲と直接にはつながらず、それらとの間にすきまのあることを示している。多くの雲の観測をまとめてみるとこのように jet front の上にそって上層雲の頻度ももっとも高い。cirrus, cirro stratus, cirrocumulus づれについてもこの結果は大体同じである。

予報や観測関係者は、すでに前から雲の発生高度が幾層かになっていることは知っていたし、また、中下層雲に関係なしに、上層雲だけが現われ、また消えてゆくことがあるのを知っていた。いわゆる薄曇りの予報に関連した問題である。また多くの気象関係者はどうして上層雲が発生するかを疑問に思ったことであろう。筆者も、天気図をかいてみたり、旅行をしたときなどしばしばこの疑問になやまされてきた。まさか地上の空気が上昇し

観測から大西洋上で easterly jet らしいものを観測しているし、またクラカトア火山の爆発の際やピキニの水爆実験の時も easterly jet らしいものが観測、あるいは推定されている。もっとも後者では高度はさらに高く、下層成層圏あたりである。また南半球では濠洲でも easterly jet が観測されている。一方、Riehl はかつて、熱帯上空では上層の流れは多くの渦になる傾向のあることを指摘している。これらとの関係はどうなるのであろうか。easterly jet に関してはまだまだこれからというところである。

1.5 太平洋のジェット流

太平洋のジェット流の研究は、この方面を大型ジェット機がとぶようになるので着々とすすめられている。わが国でも羽田航空気象台、気象庁予報課、高層課などで解析、予報などが行われているが、アメリカでもパンアメリカンやノースウエストなどの航空会社が中心になって AROWA project としていろいろ研究されている。平均的なことは大体わかってきたが、細かいことになると観測資料の不足が致命的である。いまのところ一つ一つの飛行機観測をたんねんに調べ、これを天気図に記入してゆくほかは仕方ないのではなからうか。このような実的な要求に答えるには数値予報方式によるジェット流の予報が大きな役割を果すことと思われる。ただ上層対流圏は変動のはげしいところであるから、克服すべき問題はまた沢山ある。

1.6 Arctic stratospheric jet stream

冬、北極が夜になるころ、北緯70~75度あたりでジェット流が観測され、最近これについていくつかの解析が報告されている⁶⁾。Lee および Godson によると、高度は50mb 以上で時には230ノットにも達する。カナダでは北緯80度あたりまで風の観測所があるためいろいろ興味ある結果がえられている。この成層圏のジェットの特徴は、いちじるしい baroclinic の場と結びついていることである。ジェット付近の温度場は変動が大きく、25mb (25km 内外) で24時間に34°C も上昇した例もある。この温度変化にはオゾンが関係しているらしい。すなわち太陽放射がちかに利いているらしい。もしそうだとすれば、オゾンが太陽放射を吸収し、長波長の放射で冷えるためたえず不平衡を起し、したがって、冬、地球の蔭のところで温度傾度を生じ、ジェット流を生ずるわけである。カナダでは IGY の期間中25mb の高層天気図をかいてこのジェット流を解析しているから、そのうちさらに詳しいことが分ることと思われる。

2. 大循環に関連した問題

2.1 概観

つぎに大循環に関連した問題をながめてみよう。この方面ではとくにわれわれに身近なアジアの大循環の問題について多くのことがわかってきた。北半球全体の立場からいえばアジアにはまだ未開拓の問題が多い。一つには中国の資料が最近まで公表されなかったこと、またそのほか、広大な西太平洋に観測資料の少いこと、東南アジアから十分な資料がえられないことなどがその主な原因かもしれない。わが国で活潑に行われている梅雨、台風、季節風などの研究は、当然わが国の位置している地理的な条件すなわち巨大なアジア山嶽、広大な大洋などの影響と密接に結びついているから、予報期間を延長する問題と関連して、アジア全体ひいては北半球全体の現象と結びつけて考えざるをえなくなる。このさい、問題になることは、どこまでが北半球全体の大循環の現象で、どこまでがアジアだけで変化をした現象であるかという疑問である。つまり北半球全体に山嶽がなかった時起きる現象と、アジアの山嶽、海洋の影響だけで起きる現象とを区別できるかという疑問である。おそらく両者を明確に区別することは困難で、両者は相互に結びついたのであると思われるが、ほかの大陸、すなわち北米大陸やヨーロッパ大陸の現象と比較するとき重要になる。

2.2 中国大陸上の環流

アジアの環流に関して Tellus にのった中国の総合報告⁷⁾は今後われわれが研究を進める上に参考になることが多い。中国で一番問題になるのは当然ヒマラヤおよびチベット高原の影響である。中国の総合報告の内容はつぎのようである。I. 高層総観解析 1.1平均運動場 1.2季節変動 1.3東アジアの主な天気現象 1.4東アジアの環流および中国の天候におよぼすチベット高原の影響 II. 東アジアの大循環の力学的研究 2.1東アジアの平均的な冬の流れの形成 2.2日日の天気におよぼす地形の力学的な影響。

中国においてもわが国で行われたように、梅雨とジェット流との関係を調べている。またチベット高原は温源か冷源かという点で、夏は温源、冬は大体冷源であるがチベット高原の南東部では温源となるとのべている。力学的な研究では山の影響を入れた定常場の渦度方程式をとき数値積分して実測と比較している。また山の影響を入れたバロトロピック・モデルの渦度方程式をとき気圧傾向を求め実測と比較している。

われわれが高層解析を行うとき中国奥地の実測風がほしい場合が多い。ことに山嶽の影響をくわしく調べるときにはなおさらである。しかしこの報告にのっている平均断面図で実測風を使ったものは 90°E (夏, 冬) のものだけで, あとの 76°E , 105°E , 120°E (いづれも夏, 冬) のものは地衡風を計算したものである。ただ, この地衡風によってもチベット高原をこえる冬の平均流にははっきりした2本の分枝があらわれている。またわれわれが高層天気図をかいていて, よくチベット高原の南東側に低気圧ができるのに気がつくが, これを“SW vortices”とよんでいる。日々の天候に影響をおよぼすチベット高原の作用についてつぎの3つがあげられている。(1)偏西風を分流し, 合流させる。高原の東側で谷ができる。(2)大きな谷が西からやってきて高原をこえるとき damp される。谷は高原の上で南と北とに切りはなされて2つになる。(3)下流にいわゆる“dead water”現象がおこる。これを shelter effect とよんでいる。これら3つはわれわれも天気図からよく知っていることであるから, もうすこし詳しいことが知りたい気がする。

2.3 F. Defant の解析

つぎに興味があるのは大気の三重構造を明瞭に示した F. Defant の北半球解析である⁹⁾。Defant は1956年1月について tropopause map をつくった。tropopause の高さが急に変化するところ, すなわち tropopause breakline をしらべてみると2つあり, 北のものは polar breakline, 南のものは subtropical breakline とよぶことができる。これによってゾンデの状態曲線は大体3つに分けられ, 北のものは polar group, 中間のものは middle group, 一番南のものは subtropical group としてまとめることができる。なお polar breakline のところに polar jet があり, subtropical breakline のところに subtropical jet があるので, 丁度この jet の中を観測した状態曲線として polar front jet 型と subtropical jet 型の2つが追加され, 都合5つの型にわけられる。このように状態曲線がいくつもの型に分けられることはすでに前から知られていたことであるが, tropopause map をつかって北半球的規模で示したという点で目新しいといえよう。

それぞれの状態曲線にあらわれる tropopause の特徴はつぎのとおりである。(1) polar front の北では tropopause (いか T. と略記) は 300mb 以下。(2) polar front と subtropical jet の間では T. は 220~270mb。(3) subtropical jet の南では T. は 100~80mb。(4) po-

lar front jet のところでは, はっきりした T. なし。(5) subtropical jet のところでは T. は二重構造を示し一つは 200mb 近く, 一つは 100mb 近くにある。

われわれがさらに知りたいことは tropopause の変動の問題, ひいてはその成因に関連した問題である。なぜこのような tropopause の多重構造があらわれ, しかもそれが平均的にはほぼきまった高度にあらわれるのであろうか。tropics から impulse として中緯度に注入された空気はどのようにして tropopause を変化させてゆくのであろうか。放射からの考察をどのようにして具体的な大気の運動に組み合わせべきであろうか。このような数多くの疑問に対しては Defant の行ったような解析をさらにほかの季節にも行ってみる必要があるであろう。いづれは大循環における 3 cell の問題とも関連してくるであろう。また長期的な index cycle の変動の問題とも関連してくるであろう。

3. Severe storm 関係

直接人命の被害にむすびついた severe storm の解析ならびに予報の問題は, 在米の藤田博士をはじめとして多くの人々によって meso-meteorology の立場から着々として研究がすすめられている。とくに radar 観測をつかてのトルネード一, 雷雨, 突風, 降雹の研究は興味ある成果をあげ今後ますます発展する方向にある。わが国においても昨年の17号, 21号, 22号台風について興味ある観測結果がえられた。

北米大陸でトルネードの発生したときの air mass の特徴を状態曲線によって分類するとつぎの3つになることが知られている⁹⁾。Type I: 大平原型。Type II: メキシコ湾沿岸型。Type III: 西岸型。これらは必ずしも名称で示された地域だけで起るものではないが, 主として発生する地域の名称によって分類されたものである。大平原型というのは 800~700mb に逆転層ないし安定層をもち, その下は湿潤, 逆転層内で急に乾燥していて, 状態曲線はともに条件付不安定になっているのが特徴である。400mb までの空気は stability index が負である。メキシコ湾沿岸型というのはメキシコ湾沿岸からフロリダにかけて多く, 高いところ (400mb あたり) まで湿っている型であって, 熱帯の air mass 内にあらわれる。条件付不安定であるが逆転層はあらわれな。西岸型は太平洋沿岸に多く, 湿潤で条件付不安定であるが, メキシコ湾型にくらべて温度が低い。この型でもとくに逆転層はあらわれな。

Severe storm が起る条件としては air mass のもつ内在的な不安定度とそれに衝撃をあたえる triggering mechanism があげられている。不安定度は、熱的な不安定度、下層の空気に含まれた水蒸気の量、対流圏中層の風の強さなどに関係がある。とくに注目すべき点は severe storm が単なる対流だけや、全く思いもかけないような所で単独に起るといふようなことがきわめてすくない点である。ほとんどの場合スコール・ラインや雷雨線 (line of thunderstorm) に伴って起る。これは前線とは必ずしも関係がないが、前線上の弱い小低気圧 (microcyclone) や小じょう乱によって誘発される。

最近わが国でも、豪雨、突風、雷雨などの解析から不安定線あるいはこれに関連した名称のもとに多くの研究報告が発表されているのは興味あることである。

4. Palmén のハリケーンの解析

台風の研究はわれわれにとって最も重要な研究問題の一つであるが、日本に上陸する台風は南方洋上で最盛期を過ぎて偏西風帯に突入しようという段階のものが多く、とくに秋の台風ではそうである。したがって台風の運動と偏西風との相互作用が重要になってくる。Palmén は最近北アメリカ西岸に上陸した hurricane Hazel の解析を行っている¹⁰⁾。いろいろ計算が行ってあるが、最後に Hazel は eddy potential energy を eddy kinetic energy にかえる役割を果たしたと述べている。これは Starr と Lorenz によつてのべられたエネルギーの変遷過程を具体的に述べたことになり、大きな目で台風を論ずる際には一つの示唆を与えるものと思われる。

5. む す び

以上4項目にわたって最近の研究を紹介してきたが、もちろんこの外にも重要な研究がたくさんある。たとえばソ連の研究である。数値予報ならびに大規模な現象の高層解析が行われていることを断片的にしりうるが、語学のハンディキャップのため、ここではたの紹介者にゆづらざるをえない。Eurasia 大陸の総観解析、シベリヤの cold vortex の高層解析、中央アジアの総観解析などわれわれにとって参考になることと思われる。

最後に、総観気象の立場から大きな問題となるのは、

ここ2年間つづけられてきた IGY 関係の観測資料の整理をいかに行うかということであろう。140°E を中心とした地域の総観気象の研究は当然日本の気象関係者の担当すべきものである。前回の IGY の整理に何年もかかったことを思えば、今回の資料整理、調査研究には何年もかかることだろう。とくに今回は global scale で資料が充実しているので大循環の解明には多くの成果をもたらすことだろう。ごく平凡な結論であるが、われわれはその成果を期してまじたい。

文 献

- 1) Berggren, R., W.J. Gibbs and C.W. Newton (Chairman), 1958: Observational characteristics of the jet stream. A survey of the literature. *Technical Note 19*. World Meteorological Organization, Geneva.
- 2) Endlich, R.M. and G.S. Mc Lean, 1957: The structure of the jet core. *J. Meteor.* **14**, 543-552.
- 3) Mc Lean, G.S., 1957: Cloud distributions in vicinity of jet streams. *Bull. Amer. meteor. Soc.*, **38**, 579-583.
- 4) Alaka, M.A., 1958: A case study of an easterly jet stream in the tropics. *Tellus* **10**, 24-42.
- 5) Koteswaram, P., 1958: The easterly jet streams in the tropics. *Tellus* **10**, 43-57.
- 6) Lee R. and W.L. Godson, 1957: The arctic stratospheric jet stream during the winter of 1955-1956. *J. Meteor.* **14**, 126-135.
- 7) Staff Members, Academia, Sinica Peking: On the general circulation over Eastern Asia.
Part I: 1957, *Tellus* **9**, 432-446.
Part II: 1958, *Tellus* **10**, 58-75.
Part III: 1958, *Tellus* **10**, 299-312.
- 8) Defant, F. and H. Taba, 1957: The threefold structure of the atmosphere and the characteristics of the tropopause. *Tellus* **9**, 259-274.
- 9) Air Weather Service, 1956: Severe weather forecasting. pp. 147.
- 10) Palmén, E., 1958: Vertical circulation and release of kinetic energy during the development of hurricane Hazel into an extratropical storm. *Tellus* **10**, 1-23.