

中小規模現象の気象学(II)

二 宮 洸 三*

1. はじめに

中小規模現象の気象学(I)において齋藤直輔氏は、中間・中・積雲規模現象の分類について説明を加え基礎的文献の一部を紹介し、かつ研究内容を(1)気圧系の構造と力学 (2)局地風系 (3)積雲対流群と降水 (4)雷雨・トルネード に分類し、そのうち(1)および(2)の文献を紹介した。

中小規模現象の気象学(II)では、主として上記の(3)(4)の内容に触れるが研究意識・現象認識には個人差があり、齋藤氏の分類には拘束されずに文献紹介を行なう。筆者は系統的な読書を行っていないので最近個人的な興味を感じた論文を列記するにとどめざるを得ない。しかも、列記した文献のうち精読理解したものは一部分にすぎず、他は“斜め読”したり理解できなかったものであることも正直に記したい。このような恥ずべき事情にかかわらず、この文献紹介はそれなりに有意識であろう。研究内容(意識)別にかかげた最近の文献から、この分野の問題意識を知り得るであろうし、各文献の引用文献から芋づる式に必要な応じて(年代をさかのぼって)文献を捜すことは容易であろう。

2. 温帯の大規模擾乱内の中小規模現象

温帯の主要な気象擾乱は傾圧性波動であり、それ自体は力学的研究の対象として解明されたものであるが、それにとまらぬ降水現象のある部分は中小規模現象と関係する。別な表現をとれば、中小規模擾乱は大規模場と独立ではなく、大規模場によって支配されているとも言える。この節では、大規模擾乱における中小規模現象を論じた文献を紹介する。

2.1 高緯度温帯の低気圧前線系の降雨

北米大陸西岸の低気圧・前線系の降雨現象についての観測的研究は、Hobbs, Houze 等のグループによって精力的に行なわれており、その成果は Hobbs *et al.* (1975) Houze *et al.* (1976), Houze *et al.* (1976), Hobbs

et al. (1978) などに見られる。彼等の研究の特徴は、雲物理的過程をも含めて、低気圧前線系の降水の微細構造(中小規模の)を実体的に把握しようとする意図にある。ただし、日本の読者はこれが“高緯度大陸西岸の低気圧前線系の研究”であることを忘れてはならない。(降水は1~3 mm/hour であるし、成層状況も亜熱帯域とは異なる。)

欧州大陸西岸の低気圧前線系の降雨の研究は Browning のグループによって進められた。その成果は Browning *et al.* (1973), Harrold (1973), Browning *et al.* (1974), Browning (1974) などに見られる。彼等の興味は、中規模の降水系、地形の効果などの他、循環系についても向けられている。彼等の研究成果にケチをつけるつもりはないが、彼等の示した循環系の多くは、降水系の定常性を仮定し、かつ X-Z 面の運動を仮定して得られていることを読み落としてはいけない。降雨分布のあるものは、かなり無理な時間空間変換から得られている。同種の解析であるが、Roach-Hardman (1975) は、測風投下ゾンデを使用した観測である点(新しい測定手段)に注意したい。

北米大陸東岸(高緯度)の低気圧に伴う降水について最近の文献を筆者は知らない。やや古いものに、Austin-Houze (1972), 古いものに Boucher (1959) などがある。Boucher の仕事は 1.25cm 波の垂直レーダによる低気圧の降水系の労作であって、20年も昔にこの論文を完成させた問題意識に敬服する。(日本でも、同じ時代から研究レーダを所有しながら、十分な問題意識もなく、地道な研究観測の労作が出なかった。)

北欧学派の極前線セオリーが力学的な方向に発展した一方で、その降水の微細構造という方向にも研究が発展したことは、バランスのとれた研究意識の結果であるように筆者には思われる。(日本ではどうであったか?)

亜熱帯域では研究の重点は個々の積雲スケールの現象に向いたためか、低気圧前線系の微細構造としての中小規模現象の研究例を最近筆者は見ない。

* K. Ninomiya, 気象庁電計室。

2.2 中小規模擾乱の一般場への影響

中小規模擾乱それ自身には触れず、それらの一般場に対する作用も研究対象として取り上げられている。激しい severe storms の一般場に与える影響については、**Ninomiya** (1971) の観測的研究などがある。最近ではより精密な定量解析が試みられている。**Edmon-Vincent** (1976), **Vincent et al.** (1977), **Fuelberg-Scogg** (1978) などがその例である。これらのうちには、数値予報モデルの積雲のパラメタリゼーションの方式を diagnostic 解析* に採用しているものもある。

2.3 強雨域の水蒸気収支に関連して

アメリカ南部の強雨域の水収支は以前から行なわれているが (**Palmen-Newton**, 1969 の教科書参照), 最近の解析では上昇流のより正確な評価が試みられている。また、2.2 節で述べた手法で**, 一般流 (上昇流) による降水と対流性降水とを分離して評価することに興味向けられている。**Bosart-Carr** (1978), **Carr-Bosart** (1978) はその例である。

水収支とはやや異なるが, severe storms 発生時前後の水蒸気と温位場の時間変化と移流量を解析した **McFarland-Sasaki** (1977) の論文では変分解析が使われており, 変分解析の論文はそれの引用論文からさかのぼって探すことができる。

3. トルネード・雷雨などに関連した文献

3.1 主として地上データによるトルネードの解析

最近, 被害調査を含めた現象論的なトルネードの解析の報告が少なくない。**Agee et al.** (1976, 1977) はその一例である。ケーススタディを通していくつかの事実が知られるのであろうが, “二番せんじ的” な報告も少なくない。オリジナリティと解析の実証性を学ぶには, むしろ **Fujita et al.** (1970, 1972) が適当であろう。入念な field 観察, データの収集と解析法と現象の解釈など, その後の同種類の仕事の先駆となった論文である。**(Fujita et al., 1972 は大宮市のたつ巻の解析例である**

が, これはたまたま休暇で日本に滞在中の **Fujita** 教授が直ちに現場におもむかれ, 必要なデータを収集解析されたものである。観念論的で, 机から離れられない日本人は, その集中心・機動力・実体を直視する観察力を学びたいものである。)

3.2 トルネードの循環

トルネード・雷雨などの循環の立体構造は, 通常の高層観測では知ることができない (分解能の問題)。立体構造の研究は, dual-Doppler 観測によって急速にすすめられている。その結果は, **Ray** (1976), **Brandes** (1977, 1978) などに報告されている。(観測手段, データ処理については他の入門講座を参照。) 現在では, 渦度場, 発散場も実体的に評価されるようになった。

3.3 雷雨

雷雨のうち, super cell, multicellular complexes に関する観測的研究の例として, **Browning-Foote** (1976), **Carte-Mader** (1977) を挙げる。観測とも力学ともつかない研究に **Lin-Chang** (1977) の例を挙げる。最盛期の rotating super cell を想定 (定常性を仮定) して, モデル的な風系を与えて, その構造を数値的に調べたものである。(観測でもなく, 数値実験でもなく, 仮定と説明すべき事柄との関係が自明ではなく, この計算で自然の何がわかったか, 私にはわからない。)

航空機事故に関係した “downburst” の解析例として **Fujita-Byers** (1977) がある。古い報告であるが, “雷雲の分裂” を扱ったものとして **Fujita-Grandoso** (1968) がある。(これは最近数値実験で再現が試みられている。)

個々の論文ではなく, プロジェクトの総合報告的なものとしては, **Browning** のグループによる 5 部作: **Chalon et al.** (1976), **Fankhauser** (1976), **Strauch et al.** (1976), **Musil** (1976), **Browning** (1976) と, **Barnes** (1978) の 4 部作がある。(後者についてどの点にオリジナリティがあるのかは筆者の知識ではわからない。) このようなプロジェクトは評価は軽々しく行なうべきではないが, 米国のこれらの仕事は, Thunderstorms Project, Severe Storms Project 以来の伝統的な力なのであろう。(日本ではこのようなプロジェクトを組織することは不可能である。)

3.4 convective storm の数値実験

長時間継続する storm の機構を説明するために, 2 次元対流モデル (**Takeda**, 1971; **Hane**, 1973) がある程度の成功を収めているが, 最近では 3 次元対流モデル

*, ** 元来時間ステップを追って計算すべきパラメタリゼーションの方式をそのまま diagnostic 解析 (6 時間, 12 時間間隔のデータの) に適用して意味があるかは, 私にはわからない。またパラメタライズされた対流性降雨が自然のそれとプロセス的に一致しているかは自明ではないだろう。物理過程をロジカルに考えれば熱帯の項で紹介する **Yanai et al.** (1975) のように収支解析で得た apparent source と cumulus mass flux を結び付ける方法が無理なく理解できる。

の実験が多く使われている。それらのモデルでは、雲力学過程にパラメタリゼーションの工夫がこらされている。**Klemp-Wilhelmson** (1978 a, b) などはその一例である。筆者にはこの種の仕事を解説する能力はないが、実際に解測された storm の振舞いが実験でかなり再現できる段階になってきていることに驚かされる。(たとえば, storm の分裂のようなことも.)

3.5 storm 域の内部重力波など

中規模擾乱の移動を内部重力波の伝播として説明しようとする論文があるが、ここで示した **Eom** (1975), **Uccelline** (1975) の論文では storm 域における内部重力波を扱っているが、個々の storm を内部重力波で説明しようとしているのではない。

雷雨の下では降水粒子からの蒸発によって寒気(メソハイ)が形成され、その前面にガストフロントの現われることはよく知られているが、それを“gravity current”として取り扱った **Charba** (1974) の報告がある。

3.6 中規模域の定量解析

大規模場の力学的・熱力学的定量解析は以前から行なわれているが、最近の中規模研究観測網の整備によって、定量解析は中規模域についても可能となってきた。

Sanders-Paine (1975), **Sanders-Emanuel** (1977), **Tsui-Kung** (1977) などはその一例である。さらに最近は、リモートセンシング・データによってさえ力学量の評価が可能となって来たようで、**Kropfli-Miller** (1976) などはその試みの一例である。(物理量が形式的に計算で評価されたことが、必ずしも現象の物理過程の理解を深めるとは限らないが。)

4. 熱帯の中規模現象

筆者の知識の範囲外であるが、その手法や問題意識が中緯度(亜熱帯)の研究に役立つように思われるものを簡単に記しておく。

4.1 熱帯のスコールラインなど

熱帯の組織化された積雲がつねにスコールラインの形態をとるかどうか筆者は知らないが、このごろ、たとえば **Betts** (1974), **Betts** (1976), **Mansfield** (1977), **Miller-Betts** (1977), **Zipser** (1977) など報告が多い。筆者には、それらの問題意識がよく理解できないが、成層状況に対する積雲の効果が一つのテーマになっているように思われる。

4.2 cloud cluster, 積雲の統計

中規模と呼ぶには大きすぎるが、**Williams-Gray** (1973), **Ruprecht-Gray** (1976 a, b) の cloud cluster

の解析を挙げる。高層観測の十分でない領域で, cluster について composite して定量解析を行なったものである。夏季亜熱帯の海域でもいろいろなスケールの cloud cluster がみられるが、その解析に参考になるだろう。

cumulus cloud population の論文として, **Lopez** (1976), **Houze-Cheng** (1977) を挙げる。その手法は常識的なものであるが、なぜ日本ではこの種類の基礎的な仕事がやられないのだろうか?

4.3 cumulus massflux など

一般場の熱収支解析の結果から cumulus massflux を評価した論文として, **Yanai et al.** (1973), **Nitta** (1975), **Johnson** (1976) がある。渦度収支における cumulus massflux による渦度輸送を評価したものに **Shapiro** (1978) がある。問題意識, 手法とも, 亜熱帯域の擾乱についての研究にも参考となろう。

5. 日本列島周辺の降雨に関連した中小規模現象

日本列島周辺の中小規模現象を別項目として扱うのは、この地域が亜熱帯湿潤気候区に属するからである。この地域の大規模場の状況(成層状況, 水蒸気量, 水蒸気フラックス量など)は、高緯度, 大陸東岸とは非常に異なっている。

日本列島規模の現象は場合によっては、中間規模・中規模と考えてもよいことも記しておきたい。

日本の文献(気象集誌, 天気など)はどこでも見られるので、紹介は簡単にとどめる。

暖候季の降雨に関連した文献

梅雨前線の中間規模的構造……**松本・吉住・竹内**(1970)
松本・二宮・吉住(1971)

梅雨季を通しての梅雨前線……**秋山**(1973)

梅雨前線の中間規模擾乱の構造……**吉住**(1977, 1978)

中間規模擾乱の降水とエコー……**二宮・秋山**(1971, 1972, 1973)

低気圧の中規模的微細構造……**松本・二宮**(1971)

下層ジェットと降水……**松本**(1972, 1973), **秋山**(1973)

大きなレインバンドの構造……**立平・牧野**(1975)

レインバンドと下層ジェット……**二宮・秋山**(1974)

レインバンド内の cumulus organization……**秋山**(1974)

豪雨の水収支……**秋山**(1975)

中規模解析……**松本・秋山**(1969, 1970), **秋山・松本**(1970)

降雨の中規模解析……**松本・常岡**(1969)

中間規模低気圧の降雨の微細構造……**秋山**(1978)

対流昇温の熱収支……**松本**(1968)

- 運動量収支(対流混合)……吉住(1977)
 豪雨の積雲の解析……武田・森山(1976), 武田・今井(1976)
 地形による豪雨の変形……榊原・武田(1973)
 東シナ海域の擾乱
 擾乱域の積雲の bulk 的特徴……二宮(1974)
 冬期日本海域の擾乱
 中規模解析……松本・二宮・秋山(1967 a, b), 松本・二宮(1969)
 渦状擾乱……宮沢(1967)

(この海域の擾乱については、1970年代、大きな進歩はないように思う。)

6. おわりに

筆者の興味本位で文献紹介を行なったので、偏った紹介になった。入門講座“気象力学”“降水物理”“対流論”“レーダ気象”などで補っていただきたい。

文献は、自分自身で問題をかかえて読む時でなければよく理解しがたい。同種類の経験をもつ時には、人の仕事を理解できると共にその限界や欠点も見つけられる。

追記

外国の学術誌では理論・数値実験の論文が多いが、観測的(日本流では解析的)研究も多数ある。地球物理の一分野である気象学では、バランスのとれた研究の進め方が必要となる。理論・数値実験の目的設定や検証も観測的研究の成果を必要とする。日本の各分野におけるバランスは健全でない。現状の早急な是正は難しいが、アンバランス(弱点)を認識(自覚)しなくては、先が暗い。

紹介した研究の大部分は“研究観測”“研究用に編集されたデータ”によっている。論文の成果は氷山の一角で、その背後には、研究プロジェクト(観測を含む)がある。この背景に関して、日本の現状は物的・人的に寒寒としている。必要な研究体制を作ることの努力なしに、後に続く世代に単なる文献紹介をしてよいものであろうか？(中小規模現象の気象学(I)で紹介された論文の多くも“研究観測”によっている。これを認識しない紹介は読みが浅いと言うべきだろう。また、もしも入門講座の執筆者として、研究観測に基づくプロジェクト研究(外国の研究で“個人”的なのは無い)を意識し評価し紹介する一方、自らの職業上(権限を持つ)の立場では、(広義の)研究観測を軽視し、研究グループのリーダーの人選をあやまり、必要な人材の確保をおこたったことがあれば、無責任と言わざるを得ない。)

中小規模の研究を進める人は、日本の現状下で可能でかつ研究として意味のあるテーマを探さねばならない。また、困難を乗り越えて正しい意味での研究観測(データ処理も含めて)が実施できる体制を作り上げていただきたい。

文 献

2.1 節

Hobbs, P.V., *et al.*, 1975: The dynamical and microphysical structure of an occluded frontal system and its modification by orography, *J. Atmos. Sci.*, **32**, 1546~1562.
 Houze, R.A., *et al.*, 1976: Mesoscale rainbands in extratropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 868-878.
 —, *et al.*, 1976: Dynamics and cloud microphysics of the rainbands in an occluded frontal systems, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1921-1936.
 Hobbs, P.V., *et al.*, 1978: Rainbands, precipitation cores and generating cells in a cyclonic storm, *J. Atmos. Sci.*, **35**, 230-241.
 Browning, K.A., *et al.*, 1973: The structure of rainbands with a mid-latitude depression, *Q.J.R.M.S.*, **99**, 215-231.
 Harrold, T.W., *et al.*, 1973: Mechanisms influencing the distribution of precipitation within baroclinic disturbances, *Q.J.R.M.S.*, **99**, 232-251.
 Browning, K.A., *et al.*, 1974: Structure and mechanism of precipitation and the effect of orography in a wintertime warm sector, *Q.J.R.M.S.*, **100**, 309-330.
 —, 1974: Mesoscale structure of rain systems in the British Isles, *J.M.S.J.*, **52**, 314-327.
 Roach, W.T. and M.E. Hardman, 1975: Mesoscale air motions derived from wind finding dropsonde data in the warm front and rainbands of 18 January 1971, *Q.J.R.M.S.*, **101**, 437-462.
 Austin, P.M. and R.A. Hauze, 1972: Analysis of the structure of precipitation patterns in New England, *J. App. Met.*, **11**, 926-935.
 Boucher, R.J., 1959: Synoptic-physical implications of 1.25cm vertical beam radar echo, *J. Met.*, **16**, 312-326.
 2.2 節
 Ninomiya, K, 1971: Dynamical analysis of outflow from tornado-producing thunderstorms as revealed by ATS II pictures, *J. App. Met.*, **10**, 275-294.
 Edmon, H. J. and D.G. Vincent, 1976: An application of two tropical parameterization schemes of convective latent heat release in mid-latitudes, *M.W.R.*, **104**, 1141-1153.

- Vincent, D.G., *et al.*, 1977: Generation of available potential energy of an extratropical cyclone system, *M.W.R.*, 105, 1252-1265.
- Fuelberg, H.E. and J.R. Scogging, 1978: Kinetic energy budgets during the life cycle of intense convective activity, *M.W.R.*, 106, 637-653.
- 2.3 節
- Bosart, L.F. and F.H. Carr, 1978: A case study of excessive rainfall centered around Wellsville, New York 20-21 June 1972, *M.W.R.*, 106, 348-362.
- Carr, F.H. and L.F. Bosart, 1978: A diagnostic evaluation of rainfall predictability for tropical storm Agnes June 1972, *M.W.R.*, 106, 363-374.
- McFarland, M.J. and Y.K. Sasaki, 1977: Variational analysis of temperature and moisture advection in a severe storm environment, *J. Met. Soc. Japan*, 55, 421-430.
- 3.1 節
- Agee, E.M. *et al.*, 1976: Multiple vortex features in the tornado cycle and the occurrence of tornado Families, *M.W.R.*, 104, 552-563.
- , *et al.*, 1977: An observational study of the west Lafayette, Indiana Tornado of 20 March 1976, *M.W.R.*, 105, 893-907.
- Fujita, T.T., *et al.*, 1970: Palm Sunday tornadoes of April 11, 1975, *M.W.R.*, 98, 29-69.
- , *et al.*, 1972: Typhoon-associated tornadoes in Japan and new evidence of suction vortices in a tornado near Tokyo, *J. Met. Soc. Japan*, 50, 431-453.
- 3.2 節
- Ray, P.S., 1976: Vorticity and divergence fields within tornadic storms from dual-Doppler observations, *J. App. Met.*, 15, 879-890.
- Brandes, E.A., 1977: Flow in severe thunderstorms observed by dual-Doppler radar, *M.W.R.*, 105, 113-120.
- , 1978: Mesocyclone evolution and tornado-genesis, *M.W.R.*, 106, 995-1011.
- 3.3 節
- Browning, K.A. and G.B. Foote, 1976: Airflow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression, *Q. J.R.M.S.*, 102, 499-533.
- Carte, A.E. and G.N. Moder, 1977: Hail storms in the transvaal on 29 November 1972, *Q. J.R.M.S.*, 103, 731-749.
- Lin, Y.J. and P.T. Chang, 1977: Some effects of the shearing and veering environmental wind on the internal dynamics and structure of a rotating super cell thunderstorms, *M.W.R.*, 105, 987-997.
- Fujita, T.T. and H.R. Byers, 1977: Spearhead echo and downburst in the crash of an airliner, *M.W.R.*, 105, 129-146.
- Fujita, T.T. and H. Grandoso, 1968: Split of a thunderstorm in to anticyclonic and cyclonic storms and their motion as determined from numerical model experiment, *J. Atmos. Sci.*, 25, 416-439.
- Chalon, J.P., *et al.*, 1976: Structure of an evolving hail storm(I), *M.W.R.*, 104, 564-575.
- Fankhauser, J.C., 1976: ———(II), *M.W.R.*, 104, 576-587.
- Strauch, R.G., *et al.*, 1976: ———(III), *M.W.R.*, 104, 588-595.
- Musil, D.J., *et al.*, 1976: ———(IV), *M.W.R.*, 104, 596-602.
- Browning, K.A., 1976: ———(V), *M.W.R.*, 104, 603-610.
- Barnes, S.L., 1978: Oklahoma thunderstorms on 29-30 April 1970, (I)~(IV), *M.W.R.*, 673~712.
- 3.4 節
- Takeda, T., 1971: Numerical simulation of a precipitating convective cloud, *J. Atmos. Sci.*, 28, 350-376.
- Hane, C.E., 1973: The squall line thunderstorm, numerical experiment, *J. Atmos. Sci.*, 30, 1672-1690.
- Klemp, J.S., and R.B. Wilhelmson, 1978 a: The simulation of three-dimensional convective storm dynamics, *J. Atmos. Sci.*, 35, 1070-1096.
- , 1978 b: Simulations of right and left-moving storms produced through storm splitting, *J. Atmos. Sci.* 35, 1097-1110.
- 3.5 節
- Eom, J.K., 1975: Analysis the internal gravity wave occurrence of 19 April 1970 in the Midwest, *M.W.R.*, 103, 217-226.
- Uccelline, L.W., 1975: A case study of apparent gravity wave initiation of severe convective storms, *M.W.R.*, 103, 497-513.
- Charba, J., 1974: Application of gravity current model to analysis of squall line gust front, *M.W.R.*, 102, 140-156.
- 3.6 節
- Sanders, F. and R.J. Paine, 1975: The structure and thermodynamics of an intense mesoscale convective storm in Oklahoma, *J. Atmos. Sci.*, 32, 1563-1579.
- Sanders, F. and K.A. Emanuel., 1977: The momentum budget and temporal evolution of mesoscale convective storms, *J. Atmos. Sci.*, 34, 322-330.
- Tsui, T.L., and E.C. Kung, 1977: Subsynchronous

- scale energy transformations in various severe storms situations, *J. Atmos. Sci.*, **34**, 98-110.
- Kropfli, R.A. and L. J. Miller, 1976: Kinematic structure and flux quantities in a convective storm from dual-Doppler radar observations, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 520-529.
- #### 4.1 節
- Betts, A.K., 1974: Thermodynamic classification of tropical convective soundings, *M.W.R.*, **102**, 760-764.
- Betts, A.K., *et al.*, 1976: Structure and motion of tropical squall-lines over Venezuela, *Q. J.R.M.S.*, **102**, 395-404.
- Mansfield, D.A., 1977: Squall lines observed in GATE, *Q. J.R.M.S.*, **103**, 569-574.
- Miller, M. J., and A.K. Betts, 1977: Travelling convective storms over Venezuela, *M.W.R.*, **105**, 833-848.
- Zipsper, E. J., 1977: Mesoscale and convective-scale downdrafts as distinct components of squall-line structure, *M.W.R.*, **105**, 1568-1589.
- #### 4.2 節
- Williams, K.T., and W.M. Gray, 1973: Statistical analysis of satellite-observed trade wind cloud clusters in the Western North Pacific, *Tellus*, **25**, 317-336.
- Ruprecht, E. and W. Gray, 1976: Analysis of satellite-observed tropical cloud clusters (I), *Tellus*, **28**, 391-413.
- , 1976:—(II), *Tellus*, **28**, 414-426.
- Lopez, R.E., 1976: Radar characteristics of the cloud populations of tropical disturbances in the northwest Atlantic, *M.W.R.*, **104**, 268-283.
- Houze, R.A., and C.P. Cheng, 1977: Radar characteristics of tropical convection observed during GATE, *M.W.R.*, **105**, 964-980.
- #### 4.3 節
- Yanai, M., *et al.*, 1973: Response of deep and shallow tropical maritime cumuli to large-scale process, *J. Atmos. Sci.*, **30**, 976-999.
- Nitta, T., 1975: Observational determination of cloud mass flux distributions, *J. Atmos. Sci.*, **32**, 73-91.
- Johnson, R.H., 1976: The role of convective-scale precipitation downdrafts in cumulus and synoptic-scale interactions, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1890-1910.
- Shapiro, L. J., 1978: The vorticity budget of a composite African tropical wave disturbance, *M.W.R.*, **106**, 806-817.
- #### 5 節
- (論文表題は省略)
- 松本, 吉住, 竹内, 1970: 気象集誌, **48**, 479-491.
- 松本, 二宮, 吉住, 1971: 気象集誌, **49**, 267-281.
- 秋山, 1973: 気象研究所研究報告, **24**, 157-188.
- 吉住, 1977: 気象集誌, **55**, 107-120.
- , 1978: 気象集誌, **56**, 243-252.
- 二宮, 秋山, 1971: 気象集誌, **49**, 663-677.
- , —, 1972: 気象集誌, **50**, 558-569.
- , —, 1973: 気象集誌, **51**, 108-118.
- 松本, 二宮, 1971: 気象集誌, **49**, 648-662.
- , 1972: 気象集誌, **50**, 194-203.
- , 1972: 気象集誌, **51**, 101-107.
- 秋山, 1973: 気象研究所研究報告, **24**, 379-388.
- 立平, 牧野, 1975: 気象集誌, **53**, 127-138.
- 二宮, 秋山, 1974: 気象集誌, **52**, 300-313.
- 秋山, 1974: 気象集誌, **52**, 448-451.
- , 1975: 気象集誌, **53**, 304-316.
- 松本, 秋山, 1969: 気象集誌, **47**, 225-266.
- , —, 1970: 気象集誌, **48**, 91-102.
- 秋山, 松本, 1970: 天気, **17**, 420-428.
- 松本, 常岡, 1969: 気象集誌, **47**, 267-278.
- 秋山, 1978: 気象集誌, **56**, 267-283.
- 松本, 1968: 気象集誌, **46**, 483-495.
- 吉住, 1977: 気象研究所研究報告, **28**, 49-62.
- 武田, 森山, 1976: 気象集誌, **54**, 32-41.
- , 今井, 1976: 気象集誌, **54**, 399-406.
- 榑原, 武田, 1973: 気象集誌, **51**, 155-167.
- 二宮, 1974: 気象集誌, **52**, 188-203.
- 松本, 二宮, 秋山, 1967: 気象集誌, **45**, 64-82.
- , —, —, 1967: 気象集誌, **45**, 292-305.
- , —, 1969: 気象集誌, **47**, 75-85.
- 宮沢, 1967: 気象集誌, **45**, 166-176.