

## 中小規模現象の気象学(I)

齋藤直輔\*

### 1. 序

中小規模現象の定義や名称は世界的にみても、まだ統一されていない。わが国では、**GAPR 国内委員会：大陸周辺における気団変質の研究計画(1970)**において一応の定義と名称が与えられている。そこで決められた、中間規模 (medium scale または intermediate scale) と中規模 (meso scale) および積雲対流 (cumulus convection) の現象間には性質の差はあっても、特に始めの二つの名称そのものは明確に質的な差を表現していない。すなわち、medium あるいは中間も meso あるいは中も、いずれも中間の意味であって、注釈なしではその内容を直接に伝え得ないうらみがある。こうした点を含めて、さまざまな名称とその意味する内容や現象について、吉住禎夫が **梅雨前線帯の中間規模じょう乱(1974)** において論評している。その後、**Orlanski は A rational subdivision of scales for atmospheric processes (1975)** と題してこの問題を論じ、新しい分類と名称を提案している。Orlanski は現象の分類に関する興味ある考察のあとで、空間スケールに重点をおき、分類しようとする現象を最大の確率で含むようなスケール間隔を設定する。しかし、これまでに macro (2,000km 以上)、micro (2 km 以下) と meso (2,000 km 以下、2 km 以上) の三つの基本スケールがすでに採用されているので、macro, meso, micro にそれぞれ  $\alpha, \beta, \gamma$  のギリシャ文字添字をつけた subdivision を提案した。たとえば、meso  $\alpha$  は (2,000~200 km) の範囲で前線やハリケーンがこれに属する。meso  $\beta$  は (200~20km) で下層ジェット、スコール線、雲のクラスター、内部慣性重力波等がこれに属する。meso  $\gamma$  は (20~2 km) で雷雨、晴天乱流がその例である。かように、中規模現象は水平的にも垂直的にも広い範囲のスケールをとり、その現象の性格は異なると同時にお互いの間の相互作用もある。物理的性質に重点をおくと、この分類も  $\alpha, \beta, \gamma$  で区別されているとしてもなにかすっきりしないし、

内容を直接伝えにくい点では同じである。

以下の紹介は中小規模現象の解析と力学的研究に関するもので、対流雲等の物理過程や観測を主にしたものは除く。その現象の範囲はわが国でいう中間規模低気圧から10km 程度の雷雨までである。これらの現象はその空間的大きさにより、中規模、あるいは小規模の名称で呼ぶことにする。

わが国の中規模現象は北陸豪雪と梅雨前線の解析を経て、その組織的な研究方法や解釈が確立された。60年代までのこの方面の研究については、松本誠一：**メソ気象を学ぶには(1970)**に紹介されている。特に北陸豪雪に関する研究は、**気象庁技術報告第66号** および **松本誠一・二宮洸三：降雪に伴う中規模じょう乱に関する研究(1969)**にまとめられている。その後の発展は、**二宮洸三：積雲対流と中規模じょう乱(1971)**、**気象学会：メソ気象(1974)**、**気象庁技術報告：梅雨末期集中豪雨研究報告(1974)**に広範囲にわたり研究成果がとりまとめである。周知のように、米国では集中豪雨に対応するものとして、severe storm があり、それらを含めた研究の総合報告としては、**吉崎正憲：アメリカの雷雲について(1977)**、**S.L. Branes: Severe local storm: concepts and understanding(1976)**がある。**Palmen・Newton**の教科書 **Atmospheric circulation systems(1969)**の第13章 Organized convective systems in middle latitudes もこれまでの研究のとりまとめとして良い。

中規模現象の数値実験の序説としては、**グットマン：メソ気象学的過程の非線型理論序説(1969)**がよい。気流と地形の相互作用に関しては **荒川正一：局地風(1971)**、**荒川正一：おろし風を中心とした山越え気流論(1975)**、**浅井富雄・吉門 洋：海陸風に関する理論モデルとその問題点(1973)**、降雨セルに関しては **武田喬男：降水セルの力学と数値実験(1971)**がそれぞれ力作である。集中豪雨現象の数値実験には **R.A. Anthes：Numerical prediction of severe storms-certainty, probability, or dream(1976)**がある。台風も中規

\* N. Saito, 上智大学理工学部

模現象であるが、山崎正紀：台風の構造と発達 の力学 (1976) にとどめ、熱帯気象学にゆずる。木村竜治：渦巻について (1978) は、入門的解説であるが中小規模現象の考察に参考になる点の多い秀れたエッセイである。

中小規模現象の気象学では、どのような現象に着目して解明してゆくかによって研究の方法や現象の解釈上の力点にある程度の差異がでる。(1) 気圧系の構造と力学について考えてゆく場合と (2) 地表面の構造や熱的不均一による、あるいは大規模場と地形の相互作用による、あるいは対流輸送の効果による、局地風系の考察 (3) 組織化された積雲対流群と降雨現象の解析と力学 (4) 雷雨、トルネード、たつ巻等の解析を通じて中小規模現象の本質を明らかにしてゆく場合とに大別することは一つの便法である。上記の四つの分野は共に鉛直安定度に深く関係し、お互いに独立ではなく重なっていることが多く、どの面から研究してゆくかの差異にすぎぬこともある。ここでは、(1) および(2) について研究や総合解説を紹介してゆきたい。なお、熱帯地方のものは原則的に熱帯気象学にゆずる。

## 2. 気圧系の構造や力学の観点から

本邦にも中規模低気圧の構造や形成理論についてはすでに多くの論文があり、それらすべてを並べることは避けて、ごく最近のものを除いては総合報告の紹介を主とし、各論文については、そうした報告の参考文献を参照してほしい。1960年代までのものについては1節で述べた文献が参考になるから、おもに1970年以後のものを挙げると、新田 尚：中間規模じょう乱の発生と発達(1971)が、通常の観測による天気図上で識別される小さい低気圧すなわち東支那海低気圧や土佐沖低気圧などの構造とその力学をまとめた最初のものであろう。ついで、その力学的側面の考察を中心にした 浅井富雄：中規模じょう乱に関する力学 (1974) がある。一方、梅雨前線豪雨の研究の結果をふまえた、松本誠一：メソスケールじょう乱の構造と力学 (1974)、相原正彦：中規模じょう乱と積雲対流の熱効果 (1974)、時岡達志：中間規模じょう乱の不安定理論 (1974) は、いずれも内容の豊かな秀れた報文である。そして、傾圧不安定理論が鉛直安定度の小さい時、あるいは積雲対流効果が加わった時、数百 km スケールの小低気圧の発達を示し得ることを指摘しているが、観測された現象と対比しながらいづれの著者もまだ研究は不十分であると論じている。じょう乱の構造については、松本を中心にした研究成果を 吉住禎夫 が梅雨前線帯の中間規模じょう乱 (1974) として

とりまとめている。梅雨前線上のじょう乱の構造についてはその後、ふたたび 吉住 は **On the structure of intermediate-scale disturbances on the Baiu-front** (1977) で論じている。中国大陸から本州南岸にかけての 1,000km~数百 km オーダの低気圧の構造については、**Ts. Nitta・M. Nanbu・M. Yoshizaki** (1973) : **Wave disturbances over the China continent and Eastern China Sea in February 1968**, **Ta. Nitta,・J. Yamamoto** (1974): **On the observational characteristics of the intermediate-scale disturbances generated near Japan and vicinity**, **N. Saito**: **On the structure of mediumscale depressions over the East China Sea during AMTEX' 75** (1974) がある。最後の論文では中規模低気圧がそれ自身のみで総観規模のものにまで発達するのではなく、総観規模のじょう乱の発達の中にある時に中規模低気圧が大きな規模のものにまで発達するように見えることを指摘している。対流活動の有無に応じて中規模領域の運動エネルギー収支がいかに異なるかについては、**T.L. Tsui・E.C. Kung**: **Subsynoptic-scale energy transformation in various severe storm situations**(1977)がある。梅雨前線上のじょう乱のエネルギー解析については、**S. Yoshizumi**: **On an upper tropospheric disturbance of 2.5 day period around the jet stream in the Baiu frontal zone** (1978) が論じている。

英国の北方海上でも冬季、寒気溢出期間に小さい低気圧 (polar low と呼ばれている。 **A. Eliassen** の **Motions of intermediate scale: Fronts and cyclones** (1964) においてもこれと同類のものが指摘されている。) が発生し、その大きさは数百 km で、しゅう雨、しゅう雪を伴う。その特徴は、700mb 以下の浅いじょう乱で下層の鉛直安定度が悪く、下層の風の弱い時にでき易い。準地衝風近似で安定度の悪い時の Eady model でその力学が論じられている。 **D. Mansfield**: **Polar lows: the development of baroclinic disturbances in cold air out break** (1974), **C.N. Duncan**: **A numerical investigation of polar lows** (1977) 等があり、浅いじょう乱で水平シアーは重要視していない点の特徴である。同種の現象について本邦での研究報告も多いが、総合報告として、八木正允 (1972)、八木正允 他 (1975) の 北海道西岸の小低気圧 (I), (II) を挙げておく。本邦の大規模な cold vortex 下のメソじョ

う乱について、運動量、発散、および渦度方程式の各項のスケール解析を通して、じょう乱構造の特性を論じた歴史的なものとして、**S. Matsumoto · K. Ninomiya · T. Akiyama: A synoptic and dynamic study on the three dimensional structure of mesoscale disturbances observed in the vicinity of a cold vortex center (1967)**, 同じ著者: **Cumulus activity in relation to the mesoscale convergence field (1967)** がある。

前線はその長さから言えば大規模運動に付随するが、その横幅に着目すれば、狭いところに強い集中があり中規模現象である。前線のメソ構造という解析面では、特別観測かレーダ(特にドップラレーダ等特殊レーダ)による前線面に伴う循環あるいは降雨細胞の研究が、現象の形成過程については数値実験を武器とした力学解析がそれぞれの研究の主流である。前者については、**K.A. Browning · T.W. Harrold: Air motion and precipitation growth in a wave depression (1969)**, 同じ著者: **Air motion and precipitation growth at a cold front (1970)**, **K.A. Browning: Meso scale structure of rain systems in the British Isles (1974)** がある。梅雨前線のメソ構造、あるいはメソ現象については多くの研究がある。それについては1節で述べた気象庁技術報告第86号(1974)およびその中の、吉住禎夫の総合報告:大雨を伴う梅雨前線帯の構造(1974)を参照されたい。低気圧内のメソスケール降雨帯を論じた一例として、**R.A. Houze, Jr. · P.V. Hobbs, K.R. Biswas · W.M. Davis: Mesoscale rainbands in extratropical cyclones (1976)** を挙げ、その他は降雨およびレーダエコーの面からみた中規模現象の研究項目にゆずる。力学および数値実験では、1節で述べたグットマンが前線の構造が与えられた時に前線面に沿う気流のふるまいの計算に主力をおいている。前線の形成過程をも含めた理論や数値実験については、古くは **A. Eliassen: On the vertical circulation in frontal zone (1962)** があるが、最近のものとして **B.J. Hoskins: Atmospheric frontogenesis models: some solutions (1971)**, **B.J. Hoskins · F.P. Bretherton: Atmospheric frontogenesis models: mathematical formulation and solution (1972)**, **B.J. Hoskins: Baroclinic wave and frontogenesis Part I: Introduction and Eady waves (1976)** を挙げておく。

中規模じょう乱、特に対流組織の発生機構やその伝播を、前線に限らず大気中の特別の状態に注目して考察したのも多い。上層の沈降に伴う温かい下降流に関連したものとして、**L.R. Hoxit · C.F. Chappell · J. M. Frisch: Formation of meso lows or pressure troughs in advance of cumulonimbus clouds (1976)**, 同じく中層の暖気乾燥域との関連を指摘した **M.J. McFarland · Y.K. Sasaki: Variational analysis of temperature and moisture advection in a severe storm environment (1977)**, 対流活動に先立つメソじょう乱の存在を論じた **J.M. Lewis · Y. Ogura · L. Gidel: Large-scale influences upon the generation of a mesoscale disturbance (1974)** がある。Dry lines に着目したものには **J.D. Rhea: A study of thunderstorm formation along dry lines (1966)** が、downdraft の対流雲の維持における役割については **T. Takeda: The downdraft in convective shower cloud under vertical shear and its significance for the maintenance of convective system (1965)** や **J.D. Marwitz: the structure and motion of severe hailstorms Part III Severely sheared storms (1972)** がある。

鉛直シアーに注目した雷雲の発達・維持については、古くは、**C.W. Newton: Circulation in large sheared cumulonimbus (1966)**, 近くは **G.B. Foote · J.C. Frankkauser: Airflow and moisture budget beneath a northeast Colorado hailstorm (1973)** が挙げられるが、1節の Branes や吉崎の総合報告および雷雨やトルネードの節を参照されたい。北陸豪雪研究に対応するものとして、東支那海上の気団変質過程を通じての多くの中規模現象の研究がある。特に、混合層内のエネルギー収支がこの研究の主題で、これについては近く刊行される気象庁技術報告および、論文集、**Collected Scientific Papers of the AMTEX No. 1 (1976), No. 2 (1977)** を参照されたい。

### 3. 局地風系の解析

海陸風、山谷風等は1節の総合報告が基本的であるが、その後の発展の一つとして **R.Pielke: A three-dimensional numerical model of the sea breeze over South Florida (1974)** を挙げておく。山越気流に伴う現象は対流圏上部にも見られるもので、より広範囲の総合報告としては、気象学会:海陸風と山越え気流(1975)および **WMO: The airflow over mountains**

(1960) とその後の 1972 年までの発展を含めた **WMO: The Airflow over mountains** (1973) を参照された。ここでは、メソ現象として下層ジェットを取り上げる。これについては、松本誠一: 下層ジェットの構造と力学(1974)にこれまでの研究や論文の紹介がある。この他に、亜熱帯高気圧帯での発散とモンスーントラフでの収束で強制された流れが、南アフリカ大陸の影響で強化されてソマリジェットが形成されるとした **D.L. T. Anderson: The low-level jet as a western boundary current** が注目すべきである。下層ジェットの構造を論じたものとして、**K.A. Browning・C.W. Pardoe** (1973): **Structure of low-level jet streams ahead of mid-latitude cold fronts** (1973) がある。下層ジェットと降雨との関係は、降雨およびレーダエコーの面からみた中規模現象の研究項目にゆずる。島の力学的・熱的影響をさまざまに論じた総合評論として **K.P. Chhara: Atmospheric and oceanic flow problems induced by lands** (1973) がある。

#### 謝辞

この報文には気象研究所予報研究部吉住禎夫博士に大変お世話になったことを記して感謝します。

#### 文献

##### 1 節

- GARP 国内委員会, 1970: 天気, 12, 582-592.  
 吉住禎夫, 1974: 気象庁技術報告, 86, 67-68.  
 Oranski, 1975: Bull. Ame. Met. Soc., 56, 527-530.  
 松本誠一, 1970: 天気, 17, 79-82.  
 気象庁, 1968: 気象庁技術報告, 66, 北陸豪雪調査報告.  
 松本誠一, 二宮洸三, 1969: 天気, 16, 291-302.  
 二宮洸三, 1971: 気象研究ノート, 109, 109-119.  
 日本気象学会, 1974: 気象研究ノート, 120, 1-129.  
 気象庁, 1974: 気象庁技術報告, 86, 454 pp.  
 吉崎正憲, 1977: 天気, 24, 351-373.  
 Brans, S.L., 1976: Bull. Ame. Met. Soc., 57, 412-419.  
 Palmén, E., and C.W. Newton, 1969: Atmospheric circulation systems, 390-425, Academic Press.  
 Gutman (浅井富雄紹介), 1969, 気象研究ノート, 108, 139. pp.  
 荒川正一, 1971: 天気, 18, 103-115.  
 —, 1975: 気象研究ノート, 125, 115-148.  
 浅井富雄, 吉門 洋, 1973: 天気, 20, 119-129.  
 Anthes, R.A., 1976: Bull. Ame. Met. Soc., 57, 423-430.  
 山崎正紀, 1976: 気象研究ノート, 129, 313-375.  
 木村竜治, 1978: 天気, 25, 219-230.

##### 2 節

- 新田 尚, 1971: 天気, 18, 273-289.  
 浅井富雄, 1974: 気象研究ノート, 120, 491-500.  
 松本誠一, 1974: 気象庁技術報告, 86, 136-149.  
 相原正彦, 1974: ———, 86, 98-122.  
 時岡達志, 1974: ———, 86, 84-97.  
 吉住禎夫, 1974: ———, 86, 67-83.  
 Yoshizumi, S., 1977: J. Met. Soc. Japan, 55, 107-120.  
 Nitta, Ts., M. Nanbu and M. Yoshizaki, 1973: J. Met. Soc. Japan, 51, 11-28.  
 Nitta, Ta., and J. Yamamoto, 1974: J. Met. Soc. Japan, 52, 11-31  
 Saito, N., 1977: J. Met. Soc. Japan, 55, 286-300.  
 Tsui, T.L., and E.C. Kung, 1977: J. Atmos. Soc., 34, 98-110.  
 Yoshizumi, S. 1978: J. Met. Soc. Japan, 56, 243-252.  
 Eliassen, A., 1964: Advances in Earth science, 111-138, M.I.T. Press.  
 Mansfield, D.A., 1974: Quart. J.R. Met. Soc., 100, 541-554.  
 Duncan, C.N., 1977: Quart. J.R. Met. Soc., 103 255-268.  
 八木正允, 1972: 大気, 7, 45-54.  
 —, 由田建勝, 前田紀彦, 田中康夫, 菊地弘明, 中島 尚, 鴨志田章, 1975: 大気, 14, 46-56.  
 Matsumoto, S., K. Ninomiya and T. Akiyama, 1967: J. Met. Soc. Japan, 45, 64-82.  
 —, —, —, 1967: J. Met. Soc. Japan, 45, 292-305.  
 Browning, K.A., and T.W. Harrold, 1969: Quart. J.R. Met. Soc., 95, 288-309.  
 —, —, —, 1970: Quart. J.R. Met. Soc., 96, 369-389.  
 Browning, K.A., 1974: J. Met. Soc. Japan, 52, 314-327.  
 吉住禎夫, 1974: 気象庁技術報告, 86, 36-52.  
 Houze, R.A. Jr., P.V. Hobbs, K.P. Biswas and W.N. Davis, 1976: Mon. Wea. Rev., 104, 868-878.  
 Eliassen, A., 1962: (V. Bjerknes cent. Vol.) Geophys. Publikasjoner, 24, 147-160.  
 Hoskins, B.J., 1971: Quart. J. R. Met. Soc. 97, 139-153.  
 —, and F.P. Bretherton, 1972: J. Atmos. Sci., 29, 11-37.  
 —, 1976: Quart. J.R. Met. Soc. 102, 103-122.  
 Hoxit, L.R., C.F. Chappell and J.M. Fritsch, 1976: Mon. Wea. Rev., 104, 1419-1428.  
 Mcfarland, M.J., and Y.K. Sasaki, 1977: J. Met. Soc. Japan, 55, 421-430.  
 Lewis, J.M., Y. Ogura and L. Gidel, 1974: Mon. Wea. Rev., 102, 545-560.

Rhea, J.D., 1966: J. Appl. Met., 5, 58-63.  
 Takeda, T., 1956: J. Met. Soc. Japan., 43, 302-309.  
 Marwitz, J.D., 1972: J. Atmos. Sci., 29, 189-201.  
 Newton, C.W., 1966: Tellus, 18, 699-712.  
 Foote, G.B. and J.C. Fankhauser, 1973: J. Appl. Met., 12, 1330-1353.  
 気象庁, 1977: 気象庁技術報告, 93, 9-376.  
 Mitsuta, Y. ed. 1976: Collected Scientific Papers of the AMTEX, No. 1, Japanese National Committee for GARP.  
 —, 1977: Collected Scientific Papers of the AMTEX, No. 2, Japanese National Committee for GARP.

3節  
 Pielke, R., 1974: Mon. Wea. Rev., 102, 115-139.  
 日本気象学会, 1975: 気象研究ノート, 125, 180 pp.  
 WMO, 1960: Technical Note, No. 34, WMO-No. 98, 43 pp.  
 —, 1973: Technical Note, No. 127, WMO-No. 355, 73 pp.  
 松本誠一, 1974: 気象庁技術報告, 86, 122-135.  
 D.L.T. Anderson, 1976: Mon. Wea. Rev., 104, 907-921.  
 Browning, K.A., and C.W. Pardoe, 1973: Quart. J.R. Met. Soc., 99, 619-638.  
 Chopra, K.P., 1973: Advances in Geophys, 16, 297-421.



続 気象学入門講座

これからの予定

(太字は既に掲載されたもの、カッコ内は掲載された巻号)

- 気象学へのガイダンス (25.4)
- [基礎コース]
- 気象解析の手引き (25.5)
- 気象力学・気象熱力学 (25.6)
- 気象放射学
- 高層大気物理学入門 (25.5)
- 雲物理学・降水物理学 (25.8)
- 大気電気学・大気化学
- 気象観測と気象器械
- 気象統計について (25.7)
- 気候学
- 生活と気象 (25.6)
- [アドヴァンスト・コース]
- 気象予測論 (25.7)

- 回転流体力学を学ぶために (25.6)
- 対流論 (25.6)
- 中小規模現象の気象学 (25.11)
- 大気大循環論
- エーロゾルの気象学
- 気候変動論
- 熱帯気象学 (25.8)
- 高層大気力学の諸問題 (25.9)
- 高層大気物性
- 大気境界層の物理
- 衛星気象学
- レーダ気象学
- 惑星気象学 (25.7)
- 自動気象観測(隔測)・通報システ

- 応用気象学
- 大気汚染の気象学
- 実験気象学 (25.10)
- 天候・気候改変の気象学
- 海洋気象学 (25.9)
- 極気象学
- 気象災害論 (25.9)
- 気象教育論
- 気象データ処理法
- [研究のすすめ方]
- 最近の気象資料
- 論文の書き方
- 気象学教科書・参考書のリスト

△