

Tropical Cyclones

—気象学外国文献集紹介—

柳井 迪 雄*

1. 論文選択の基準

今回の論文集には、既に第1集に収められている論文を除いた上で、現在の熱帯低気圧論の形成に貢献した代表的な論文を集めた。頁数の制約と、日本の学術誌に出た論文は採用しないという理事会の方針のため、原案の約半分しか収録できず、重要な論文を多数省略せざるを得なかった。そこでその埋め合せとして、この紹介では論文集所載のものと、採用できなかったが重要な論文とをあわせて、筆者の考える熱帯低気圧論の流れを記すことにする。

2. 近代熱帯低気圧論の形成

およそこの種の学術論文集の価値は、いかにして或る学問分野の現在の水準が出来上って来たのかという perspective を提供することにあると思う。この観点から、熱帯低気圧の力学を理解すべく苦心した人達の業績を集めてみた。この意味からは、特定の学術誌にのった論文を削ったのでは甚だ奇妙なものになるのだが、これに関しては筆者の責任外である。

御承知のように現在では熱帯低気圧論は少なくとも本質的には確立した分野とみなされており、Ooyama (1964)と Charney and Eliassen (1964) によって提出されたいわゆる CISK (第二種条件不安定) 理論が骨格をなしている。この論文集では、それに至るまでの過去約20年間の主な仕事を年代順に述べてある。

1950年代の前半では、未だ熱帯低気圧の理論と、天気図上の経験的知識との間には到底橋渡し不可能なギャップがあった。気象学者は未だ古典対流理論さえ充分消化しておらず、気象力学の水準も甚だ低かった。Haque (1952)と Syōno (1953) は、ともかく台風発生を流体力学方程式を用いて説明しようとした。台風は条件付不安定大気中の(回転系での)対流として扱われた。現在では大学院学生の常識であるように、この種の不安

定(第一種不安定)からは台風の発生、発達を説明できないのだが、気象学者がこのことを明確に認識するには Kasahara (1960) 達による数値実験の経験が必要とした。ところで Haque の論文は台風論としての興味以外に、湿潤な上昇域と、乾燥した下降域を分けた対流の線型理論の先駆として、現在でも価値がある。Syōno の論文は全域を湿潤不安定として扱っている上、残念ながら数式の誤りが多いので割愛した。

単純な対流説から期待できるのは積雲スケールの運動であり、熱帯低気圧の発生には何か別の機構を必要とするということは Riell, Jordan らの伝統的熱帯気象学者達には直観的に自明のことであったようだ。これらの解析家達や、若干の理論家は台風発生をきっかけを対流圏上部の大規模な発散に求めようとした。Sawyer (1947), Kleinschmidt (1951) によって提出された慣性不安定説がそれである。これらの論文をよく読んでみると、何れも熱帯低気圧のエネルギー源が積雲対流による凝結熱の放出であることは当然であるとし、いかにして積雲対流が大規模に組織化されるかを説明しようとしたことが判る。筆者が台風論をはじめ勉強し出した頃、Kleinschmidt の論文に気付いたのは Palmér (1956) の総合報告によってである。しかしどうも多くの人達がよく読まずに採引きしている傾向があるので特に収録することにした。傾圧渦の慢性不安定基準を直観的に求めている点で摩擦層の扱い方などに大変面白い点があり、ユニークな論文である。

Palmén (1956) の総合報告は、その頃の知識の集大成であり、極めて常識的ではあるが、climatology、発生論、構造論を手際よくまとめている。余りにも膨大なので収録できなかったが、熱帯低気圧の発生に関する global な統計と、気候学的条件の分析としては Gray (1968) の論文が決定版といえる。ついでだが、この論文は彼が日米協力研究の一環として気象研究所に滞在中にまとめたものである。

* カリフォルニア大学気象学教室、ロサンゼルス

1950年代の後半、マイアミのハリケーン・プロジェクトが発足し、研究観測飛行によってハリケーンの構造に関する知識は飛躍的に増加した。Malkus and Riehl (1960), Riehl and Malkus (1961) はハリケーン Daisy の観測資料を駆使して見事な仕事をした。前者はハリケーン内の boundary layer を扱い、運動量、熱、水蒸気の海面との交換を論じ、後者は Riehl and Malkus (1958, 文献集 **Tropical Meteorology** に収録予定) の “hot tower” 仮説を具体的にハリケーン内の積乱雲についてあてはめて熱収支を論じた。この2論文の扱った問題はまさに後の CISK 理論の根本概念をなすものと云える。筆者はこの頃台風発生期の解析、特に上部対流圏での warm core 形成過程の観察から独立に台風中での深い積雲対流の役割を認識した (Yanai, 1961 a)。また偏東風波中の上昇流による対流の組織化、積雲に伴う熱放出による warmcore 形成、傾圧渦の不安定という三つの段階を想定した台風発生論の体系化を試みた。(Yanai, 1961 b)。今日常識となっている積雲対流のパラメータ化ということ初めて提案したのは上記 Riehl and Malkus (1961) および Yanai (1961 b) の論文である。しかし後に述べる CISK 理論の定式化まで、これは概念に止まった。

1958年頃から、MIT, Chicago 大学および東京大学で Charney, Kasahara, Syōno を夫々中心に熱帯低気圧の数値シミュレーションが始まった。初期の数値実験の代表例として Kasahara (1961) の論文を収録した。これら一連の経験により、気象力学者は明確な形で、熱帯低気圧と積雲対流との共存系の力学ということに着目し出したのである。熱帯低気圧にとっては積雲対流は熱源である。一方積雲対流群は熱帯低気圧に伴う大規模な水蒸気収束によって維持されている。これをどう定式化するかが次の論題であった。

Yanai (1964) の総合報告はちょうどこの時期の知識をまとめたもので、台風の構造、基本の力学的概念、エネルギー収支、発生に関する事実と理論の展望を行なっている。摩擦層や積雲対流群の効果についても述べてある。それに収録しなかった1961年の2論文の内容を含んでいるので読者に便利と思う。今日から見ると CISK 以前の感があるが、入門としては充分であろう。数百部の別刷を使い果たした今日でも、例年欧米のいくつかの大学から教科書としての使用許可を求めて来る状態なので、本論文集に収録して需用に応えることにした。

Charney and Eliassen (1964), Ooyama (1964, 1969)

によって提出された CISK 理論はまさに熱帯低気圧論の決定版と云える画期的なものである。Ooyama (1964) の内容は、実際に数値シミュレーションを行なった1969年の大論文に含まれているので省略した。すでに述べたように、この頃までには、熱帯低気圧と深い積雲群との相互作用による発達という概念は常識となっていたのであるが、摩擦層での収束を通して積雲群による加熱をうまくパラメータ化したこと、具体的にこの共存集の不安定を示したことはこれら論文の貢献である。ついでながらエクマン層の収束、それによる上昇流を台風最初に応用したのは正野 (1944) である。それを日本で充分発展させなかったのは、筆者も含めて東京大学気象研究室に在学した人達の怠慢であったと思う。1960年に東京で数値予報シンポジウムが開かれた時、東大で正野, Charney, Ogura と私が討論したとき、摩擦収束の重要性を主張したのは正野1人であったことを鮮明に覚えている。

CISK 理論に基づく熱帯低気圧論の発展はめざましい。Ogura (1964) は2層モデルでの線型解析を明快に行ない、Kuo (1965) は熱放出について独特な方式を提案した。Syōno and Yamasaki (1966) は primitive 方程式系での線型理論を展開し、Yamasaki (1968 a, b, c) はそれに基づいた多層モデルでの数値シミュレーションに成功している。

3. 何が残された問題か

最後に少し今後の見通しを述べてみる。現在アメリカでは Rosenthal, Kurihara によって3次元ハリケーン・モデルの数値実験が行なわれている。おそらくこれらの実験から熱帯低気圧の非対称性が本質的であるいくつかの問題、例えば rainbands, さらに一般流との相互作用などについての示唆が得られよう。その上ではじめて台風の運動が再検討される時代が来るだろう。

CISK 理論は Ooyama, Yamasaki, Hayashi, Murakami 等によって熱帯大気中の波動にも適用され、成功をおさめた。

しかし CISK 理論を応用したいいくつかの論文で、元来 Ooyama (1964, 1969) が明確に述べていた熱パラメータ (いわゆる η) の物理的意味がいつの間にか忘れられ、いわば根拠なしに高度の関数として任意の形を与えることが行なわれ出した。この責任は多くの人が Ooyama の原論文をよく読みとられなかったことにあるようだ。 η は積雲対流群への mass の entrainment を表現する量である。CISK 理論を多層モデルに拡張するに

は、積雲群と周囲の一般場との mass, 熱, 水蒸気などの交換を考えた本格的な扱いが必要になる。積雲の存在によって周囲が加熱されるのは実は積雲が周囲に誘導する補償下降流のためである。この下降流は周囲を乾燥させてしまうから、周囲を湿潤に保つには低い雲からの蒸発と水蒸気の供給が必要になる。これらは更に熱帯低気圧論のみならず、大気大循環における積雲群の役割の理解にとって本質的に重要なことであり、1974年に行なわれる GARP 大西洋熱帯観測 (GATE) での観測目的の一つになっている。これら一連の問題を理論的に解明することが、より本格的な積雲対流のパラメーター化にとって先決であり、現在 Arakawa と Ooyama によって独立に研究されている。筆者もこの1年ほど荒川教授に協力して、実際の data から積雲群が周囲におよぼす効果を研究している。私はこの種の研究が熱帯気象学の次の飛躍をもたらすことと期待している。

(1971年12月15日)

収録論文リスト

1. Kleinshmidt, E., 1951: Grundlagen einer Theorie der tropischen Zyklonen, *Archiv Meteor. Geophys. Bioklim.*, A, 4, pp. 53-72.
2. Haque, S.M., 1952: The initiation of cyclonic circulation in a vertically unstable stagnant air mass. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 78, pp. 394-406.
3. Palmén, E., 1956: Formation and development of tropical cyclones. *Proc. Tropical Cyclone Symposium*, Brithbane, Australia, pp. 213-231.
4. Malkus, J.S., and H. Riehl, 1960: On the dynamics and energy transformation in steady-state hurricanes. *Tellus*, 12, pp. 1-20.
5. Riehl, H., and J.S. Malkus, 1961: Some aspects of hurricane Daisy, 1958. *Tellus*, 12, pp. 181-213.
6. Kasahara, A., 1961: A numerical experiment on the development of a tropical cyclone. *J. Meteor.*, 18, pp. 259-282.
7. Yanai, M., 1964: Formation of tropical cyclones. *Rev. Geophys.*, 2, pp. 367-414.
8. Charney, J.G., and A. Eliassen, 1964: On the growth of the hurricane depression. *J. Atmos.*

Sci., 21, pp. 68-75.

9. Ooyama, K., 1969: Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, 26, pp. 3-40.

併せて読んで欲しい論文リスト (年代順)

- 正野重方, 1944: 対称高低気圧内の下層風に関する近似解とその応用, *気象集誌*, 22, 365-391.
- Sawyer, J.S., 1947: Notes on the theory of tropical cyclones. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 73, 101-126.
- Syōno, S., 1953: On the formation of tropical cyclones. *Tellus*, 5, 179-195.
- Yanai, M., 1961 a; A detailed analysis of typhoon formation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 39, 187-214.
- , 1961 b: Dynamical aspects of typhoon formation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 39, 282-309.
- Riehl, H., 1963: Some relations between wind and thermal structure of steady state hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 20, 276-287.
- Ooyama, K., 1964: A dynamical model for the study of tropical cyclone development. *Geofisica International (Mexico)*, 4, 187-198.
- Ogura, Y., 1964: Frictionally controlled, thermally driven circulations in a circular vortex with applications to tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, 21, 610-621.
- Kuo, H.L., 1965: On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. *J. Atmos. Sci.*, 22, 40-63.
- Syōno, S., and M. Yamasaki, 1966: Stability of symmetrical motions driven by latent heat release by cumulus convection under the existence of surface friction. *J. Meteor. Soc. Japan*, 44, 353-375.
- Gray, W.M., 1968: Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon. Wea. Rev.* 96, 669-700.
- Yamasaki, M., 1968 a: Numerical simulation of tropical cyclone development with the use of primitive equations. *J. Meteor. Soc. Japan*, 46, 178-201.
- , 1968 b: A tropical cyclone model with parameterized vertical partition of released latent heat. *J. Meteor. Soc. Japan*, 46, 202-214.
- , 1968 c: Detailed analysis of a tropical cyclone simulated with a 13-layer model. *Papers in Meteor. and Geophys.*, 19, 559-585.

付記

私は現在でも外国文献集という発想法に反対の意見を持っている。それはすべての知識を欧米から輸入した戦前の発想法であり、今日の日本の気象学の水準を考えると不思議な考え方である。少なくとも熱帯気象学では日本での研究は一流であり、諸外国の大学で気象集誌にのる日本の論文 (殆んど東大の大学院学生のものだ

が) や、宣伝めくが私が在職中東大で学生の人達と研究した熱帯気象学の論文集は大変良く読まれている。日本の雑誌にのった論文を削ったことにより、この論文集の外国での需用は半減し、財政的にも損をしたと思う。負しい日本の研究者が文献を安く入手するためという説明も、ドルをおびやかす経済強国の気象学会の事業として、もはや通用し難い論理である。

今後この種の企画をたてられるときには、再検討をお願いしたい。

(45ページからのつづき)

第1段審査委員候補者

分科	細目	候補者氏名	所属・職名	備考
地球物理学	固体地球物理学	一戸時雄		継続
		横山泉		〃
	気象海洋 陸水	山元竜三郎		〃
		国司秀明	京大理 教授	新規
	樋口敬二	名大理 教授	〃	
	超高層物理学	福島直 前田担		継続 〃

なお、第2段審査委員は、鈴木次郎継続

13. 駒林誠会員は、IAMAP 内の国際雲物理委員会会の代表 Helmut K. Weickmann 博士から同委員会の下部組織である凝結核氷晶核委員会のメンバーにえらばれた。

[天気] 1月号に理事長の巻頭言を掲載する。

- IUGG の報告を11月号に掲載。
- 小元敬男氏の解説を12月号に掲載する。

[ノート] ・メソ気象力学(浅井氏)は108号の予定

[学会賞] ・昭和45年度奨励金受領者から報告書が届いた。

- 東レ科学技術研究助成候補者として矢野直会員(気研・応用)の放射性同位元素による大気浮遊塵の発生と沈降に関する研究を推薦した。

議題

1. 大気放射国際会議について

米国気象学会が大気放射国際会議の後援者となりたいと申し出たので、これを了承する。

2. 正野記念論文集について

- 理事長より長官に再度論文集購入促進をお願いする。
- 頒布価の広告は1部3,000円とする。
- 各機関(団体会員、大学、研究所等)にあらかじめPRする。
- 校正料15,000円の出費を認める。
- 論文集は、気象集誌の Vol. 49 の最終号として Special Issue とする。

3. 来年度の春季および秋季大会の会期とシンポジウムの議題について。

- 春季大会会場は気象大学校で、大会委員長は大学校長とする。
- 会期は5月16日~19日のうち3日間4会場の予定で気象大学校に検討してもらう。(その後5月16日気象庁講堂17日~19日の3日間3会場気象大学校の予定と変更された。)

シンポジウム題目は「南西諸島における気団変質の観測計画」の予定として検討する。

- 秋季大会の開催地は新潟とし大会委員長は、新潟地方気象台長とする。

会期は10月24日~27日を予定して東京管区気象台と交渉する。

シンポジウムの題目については現地と相談する。

4. 会費改訂について

印刷費、郵便料金等の値上がりのため会費の値上げを必要とする。また支部研究会補助金、天気、集誌編集の増額および増頁、奨励金の増件、人件費等の学会活動を促進する経費をもち込んだ予算案を再度検討する。

承認事項 新入会員伊藤正三外11名の入会を承認する。