

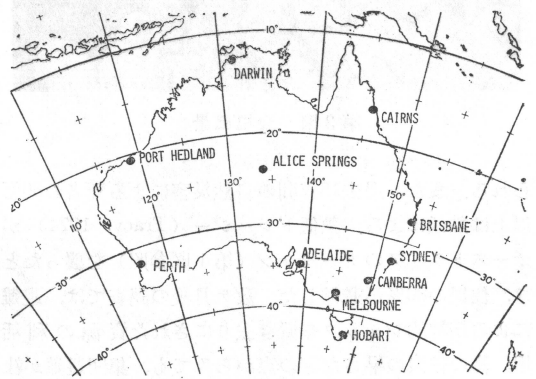
パース国際会議（熱帯低気圧）報告

土屋 喬*

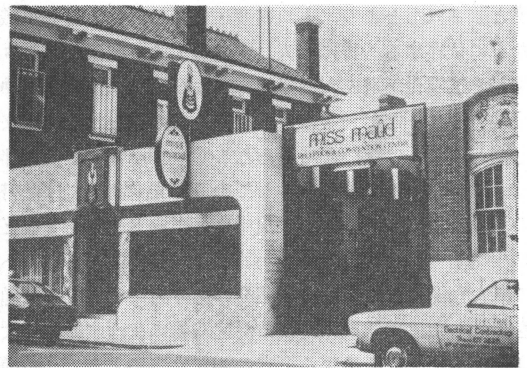
1979年はパース生誕150年に当たり、年間を通じて各種の記念行事が行なわれている。イギリス気象学会オーストラリア支部、アメリカ気象学、オーストラリア科学アカデミーの協賛により、パースで開催された熱帯低気圧（以下熱低と略し、台風・ハリケーンなどを含む）に関する国際会議は、その一環である。パースは、第1図に示すようにオーストラリア大陸の南西端近くに位置する西オーストラリア州の首府である。パースよりも、その外港であるフリマントルの方が南極観測船の寄港地として日本人には馴染みが深いかも知れない。パースはそれ程に強い熱低に襲われることはないが、パース気象台の予報担当区域である西海岸一帯では天然資源の開発が急速に進みつつあり、特に熱低襲来時の気象災害の増加するポテンシャルが大きい。このことは、この国際会議がパースで開催される一因となっている。パースの中心街にある会場（第2図、第3図）には、オーストラリア国内の各地からはもとより、アジア、ヨーロッパ、アメリカなど国外からの参加者を含め160人余を集めて、ソシオ・エコノミック・ファクター（Socio-Economic Factors）、観測（Observational Aspects）、境界層と湿潤対流（Boundary Layer and Moist Convection）、モデリング（Modeling）、人工制御（Artificial Modification）、予報（Operational Forecasting）の各セッションで、それぞれの観点から活発な討論がなされた。11月25日から始まった会議は、厳しいスケジュールをこなして29日に無事終了した。

筆者はこの国際会議に出席する機会を得ることができたので、自己の能力不足から誤解を招く表現に陥ることを恐れつつも、以下にその一端を紹介する。なお、ポスターセッションの中に興味深い展示もいくつかあったが、ここではGMSのディスプレイ（第4図）を示すのみに留め、他は割愛した。

* Takashi Tsuchiya, 気象衛星センター解析課 (Anmrc, Melbourne, Australia に滞在中)。



第1図 パースの地理的位置

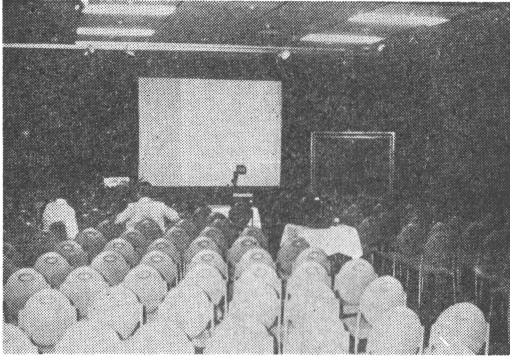


第2図 国際会議が開催されたミスモード

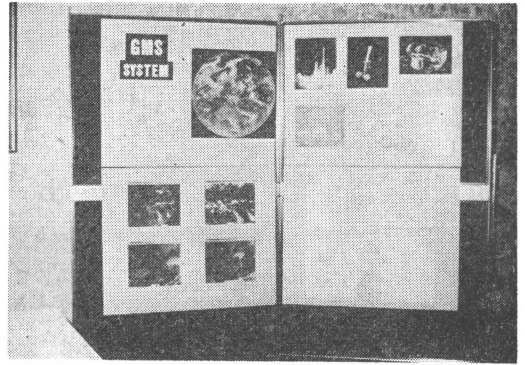
1. ソシオ・エコノミック・ファクター

このセッションでは、熱低の人間社会に及ぼす種々の影響について、それぞれの立場から議論された。

気象学的にみた熱低の影響と気象学者の果す役割りについて、R.L. Southern (Aust) はレビューの中で、R.H. Simpson (USA) はキイノートアドレスの中で、それぞれ以下の様に述べている。年間80~100個の熱低が発生して膨大な被害が起こるが、その殆どは熱低に伴う強風による。自然災害のうち、発生度数の最大は洪水であるが、大部分は熱低の襲来に続いて発生したと考え



第3図 会場風景



第4図 GMS のポスターディスプレイ

られる。また、過去15年間の自然災害による死者の60%以上は熱低による。熱低トレーシー (Tracy, 1974) がオーストラリアのダーウィン (第1図参照) を襲ったとき、住民の80%が避難した。数ヶ月後の調査では、避難による精神的ショックや置き去りにされた資源の活用、街の復興の早さなどの点からみても、集団避難が社会に及ぼす影響は決して良いとは言えないと結論づけられている。一方、熱低による被害の大きさは、熱低の規模と強さはもとより、人口密度・住民の経験・社会組織などに依存する。特に、人口密度の大きい肥沃なデルタ地帯と工業化が進んだ沿岸地方および農業に依存する熱帯地方の島々などで被害が大きく、この様な状況は将来も変わることはないと考えられる (Southern)。熱低に伴う強風が原因の高波に着目してみる。先進諸国では熱帯の沿岸地方における人口の集中化とボートやヨットなどの小型船の保有台数の増加が著しく、熱低による災害への新たな認識と対策および開発のあり方についての問題を提起した。熱低襲来時の波が建造物に及ぼす影響は大きく、また、熱低による死者の90%は波による。この様に大きな被害をもたらす波に対する沿岸地方の防災対策は、熱低に伴う強風の特徴 (風速分布の非対称性や中心付近からの距離とともに急激に弱まることなど) を把握せずに考えることは不可能である。近年、建造物の風に対する対応策は次第に充実してきているが、波に対する考慮はまだなされていない (Simpson)。熱低襲来時の住民の行動は明確ではないなど災害対策上の不確実性はあるが、現時点において気象学者に課せられた問題は、熱低に対する監視の強化と12~24時間予報の精度向上である (Southern, Simpson)。

一方、開発途上国に関して、M.A. Islam (Bangladesh) は住民の熱低に対する関心が低いことを指摘した。熱低

の常襲地帯の住民はもとより、住民を災害から守る立場の人達でさえも、熱低に関する十分な知識を持っていない。この様なところでは、熱低に関する気象学的な理解がいくら深まろうともそれだけでは不十分で、住民を啓蒙するための組織的なプラン作りが心要である。

これらの外にも、建造物に対するポテンシャルリスクについての問題 (R.H. Reisester, Aust) や保険会社の立場からみた熱低の影響 (J.P. Dawson, Aust) なども議論された。

2. 観測

熱低の発生・発達・構造・移動など、全般にわたる討論が行なわれた。

W.K. Gray (USA) はレビューの中で、観測事実からみた熱低に関する理解の程度やデータの取扱いについて、熱低の発生・発達に関する従来の理論は充分ではなく、発想の転換が必要であること、衛星など新たな観測手段によるデータの利用、すでに得られているデータの充分な活用、国際的なデータバンクの必要性などの点を強調している。

北西太平洋における熱低の発生に関して、T. Shih-Yen *et al.* (China) は南半球の循環に着目した。1959~1964年のデータ解析によれば、南緯20度以南で子午面循環が卓越すると北西太平洋で熱帯が発生し易く、带状流が卓越すると発生しにくい。すなわち、オーストラリア大陸周辺に寒気の北上があると北西太平洋の熱帯収束帯が組織化して熱低が発生し易いと指摘した。発生初期の熱帯じょう乱の発達機構を調査するため、J.L. McBride (Aust) は、北西太平洋と北西大西洋における非発達クラスターと発達中のクラスターの合成データを解析した。その結果、発達中のクラスターは非発達のクラスター

ーに比べて2～3倍の角運動量の輸送があること、運動エネルギーはサブグリッドスケールで生成されること、クラスター内部で放出されるエネルギー量は擾乱の発達の可能性とは無関係であること、などが明らかにされた。また、熱低の発達に対する積乱雲の作用は、周辺の風場を変形させ、地衡風調節をうながして気圧傾度の強まりをもたらすとの仮説を提唱した。

熱低予想の観点からみても、興味深い事実が示された。C.R. Holliday・A.H. Thompson (USA) は、北西太平洋において急速に発達した（中心気圧が42 mb/day以上の深まり）熱低について調査した。命名された熱低の約1/4はこの様な現象を伴う。920 mb以下の中心気圧を有するもののうちの3/4 および880 mb以下のものの全ては、急速な発達の後にそれらの深い中心気圧に達している。急速な発達が始まる前後の24時間以内の進行方向は、280～310度で、転向後は生じない。急速に発達し始める地点では、海面下30 mまでの水温が28度以上である、などの結果を得た。G.J. Bell (Hong Kong) によれば、熱低の移動に対する指向流の考え方は、ある条件下（指向流が存在する、時間変化が小さい、シアが対流圏内で小さい）で有効である。ところが、熱低を含む流れの場から熱低を取り除いた空間平均場と熱低の移動との関係よりも、実測風との対応の方が良いことを示して問題提起をした。

レーダエコーを用いて地上風を推（測）定する新しい方法も発表された。P.J. Meighen (Aust) によれば、レーダエコーの速度（ V ）と熱低中心からのエコー距離（ R ）との間に、 $VR^a=b$ （ a , b は定数）なる関係があり、対応する地上風についても同様な関係が成り立つ。ただし、地上風速はエコー速度よりもはるかに小さい。両者の比はほぼ一定で、地域性がある。エコーによる風を境界層よりも上層の平均風とみなすと、境界層内の風速分布は指数函数的に変化する。このことは、エコーの移動速度からデータ空白域における地上風の推定ができることを示唆している。S.J. Anderson (Aust) は、OTH (Over-the-Horizon) レーダ観測により地上風の推定を行なった。定量的に満足し得る結果はまだ得られていない。

3. 境界層と湿潤対流

対流雲の解析や境界層内の物理過程が熱低に及ぼす影響などについて議論された。

E.J. Zipser (USA) は、GATE 期間中に観測された

雲バンドの解析を行なった。積雲対流がメソスケールの雲バンドに組織化される段階に得られたいくつかのデータセットから計算した鉛直速度や質量流束などを解析した結果、2種類の雲バンドが確認された。一つは下層風に大きな角度で交わる強いガストフロントを伴うもので、フロントを境にして θ_e が大きく変化する。スコールラインに類似しており、下降域内と上昇域内での質量流束は同程度の大きさである。他の一つはITCZ内に存在し、下層風となす角度は小さい。前者に比べると、雲バンドに伴う現象は弱く、下降域内の質量流束は上昇域内の質量流束よりもはるかに小さい。前者は熱低のアウトバウンドに、後者はインナーバウンドに類似しているとも考えられるが、さらに検討する必要がある。K.J. Wilson (Aust) は、衰弱過程にある熱低の影響下で境界層内の平均風の合成データを解析し、2種類の乱れがあるという結論を得た。一つは対流性の乱れで、191 m以上の高度でしか観測されず、雲バンドの通過に伴う。他はメカニカルなもので、ガストファクターは平均風速に無関係で、平均風速よりも10 m/sec強い。

熱低の発達に関して、A.D. McEwan (Aust) が理論的考察を行なった。温度と角運動量の拡散に適用した輸送理論により、水平レイノルズストレスの対流に対する寄与を見積もり、これを熱の効果と比較した。典型的な未発達の熱低と同じ条件から計算を始めた結果、両者は同程度の規模で熱低の発達に寄与することがわかった。一方、M. Garstang (USA) は熱低の発生期における境界層内の質量、熱、水蒸気、運動量の輸送とその構造の変化を計算した。初期条件は、湿潤対流が殆ど存在しない大気状態である。強い対流が境界層内で発生すると、これを元の状態に復元させる様に調節しながら、対流雲の空間的・時間的分布に影響し、熱低が組織化する段階に重要な役割をする。

その他、熱低に伴う雲バンドの力学(T. Beer, Aust) やオーストラリア海域における初の飛行機観測によるデータ(P.G. Black *et al.*, USA)などが発表された。

4. モデリング

このセッションには、室内実験、ネステッドグリッドを用いたシミュレーション、モデリングに対する新しい試みなどが含まれる。

R.A. Anthes (USA) は、パラメタリゼーションを含む現行の3次元モデルの発達についてレビューした後、熱低のモデリングに対する問題点を指摘した。すなわ

ち、重要な物理過程に対する現在の理解の深さと、これをモデルで扱う際のギャップおよび実際の予報モデルを改良する際の技術的なことである。ネステッドグリッドを用いた3次元モデルによるシミュレーションは、R. V. Madala (USA) と R. W. Jones (USA) によって行なわれた。3種のグリッドを同時に用いた前者のシミュレーションを紹介する。最も内側 (20 km メッシュ) とそのすぐ外側のネステッドグリッドの中心は、熱低の変位に応じて移動する。積雲内の潜熱の扱いは Kuo による方法と基本的には同じで、平衡状態にある弱い渦を初期状態とする48時間積分を行ない、満足すべき結果が得られた。これと米海軍の現行モデルによる計算結果との比較が示されたが、これによると、24~48時間後のエラーベクトルで20%以上改良された。

R. P. Pearce (UK) は、熱低の初期の発達に関するコロラド州立大学の最近の研究結果 (たとえば、擾乱の中心付近にシアアがない、正渦度の極大を伴う弱い暖気核が下層に存在するなど) について、角運動量に関する数値計算を行なうことによって確かめた。特に、一般流にシアアがないことの条件は、熱収束の機構を乱さない点で重要であるとしている。

空気を実験流体とする回転槽の室内実験による熱低のシミュレーションを、W. D. Wen (China) が示した。眼の近傍の2ヶ所で気温の極大値が測定され、最大風速は $r/r_0 = 0.1$ (r_0 はモデルストームの半径) の付近で生じた。動径方向の風速分布の $vr^{1/2} = \text{const.}$ にほぼ従う。上層の非対称性循環、中層の低気圧性循環、下層には大きな角度をなして低気圧性に巻き込む顕著な雲バンドなどがモデル熱低の中で観測される。

以上の他に、対流性の渦の中で最大と最小のスケールを持つ熱低とたつ巻の類似点と相違点を力学的に論じた研究 (E. K. Webb, Aust) や最近の積雲パラメタリゼーションへの疑問から、積雲スケールの現象をより直接に扱うための新たなネスティングの試みも発表された (K. V. Ooyama, USA)。

5. 人工制御

このセッションでは、人工制御に関する現状の把握と問題点の指摘などが議論された。

R. C. Sheets (USA) は、人工制御のレビューを行ない、その中でストームフューリープロジェクトの現況を述べた。ストームフューリーの現在の仮説は、台風の眼の若干外側にシーディングを行ない、本来の眼に角運動

量の輸送や水蒸気の補給を妨げることによって熱低を弱めることにある。シーディング効果の評価は容易ではないが、ストームフューリーではそのための計画案と測器の準備が整った。測器は基礎データの収集のために用いられている。熱低内部の熱的・力学的構造を把握するための十分なデータが得られること、熱低はストームフューリーの仮説に従う様な構造を持っていること、シーディングの効果を期待し得るに十分な過冷却水を熱低が保持していることなど、いくつかの事実が明らかになっている。今後に残された問題は、実際のシーディングを行なうこと、雲物理学的観点に立った詳細なデータの収集、長時間にわたる対流活動の熱低に対する影響、シーディング効果を見積るための精巧なモデルの開発などである。一方、R. H. and J. Simpson (USA) は、フィリピン海域で行なわれることになっている人工制御の実験 (TYMOD) について述べた。TYMOD の基本的な概念はストームフューリーの仮説と同じで、シーディングによる力学的効果を期待する。熱低のアウトターバンドに対するシーディングも考慮されているが、現在では観測上の矛盾のために困難である。いずれにしても、サブグリッドスケールの現象であるシーディング効果をシミュレートできるモデルの開発が急がれる。

一方、ストームフューリープロジェクトの仮説は、雲物理的な観点からみて誤っているとの指摘 (N. Fukuta, USA) や、国際法上その実施は困難であるとの意見も出された (B. J. Davis, USA; E. Wilhelm, Aust)。

6. 予報

現業の立場からみた熱低の進路や強度の予報について、力学的・統計的方法および気象衛星データによる方法などが議論された。

容観的な熱低の予報について、G. J. Bell (Hong Kong) がレビューした。1956年以来試みられているが、平均的な誤差の小ささに比較して、時として生ずる大きな誤差のため採用されないものが多い。進路予想に関して言えば、予報法相互の誤差の大きさよりも各予報法の誤差の年変化の方が大きく、熱低の進路に及ぼす大規模場の影響の大きさを示唆している。このため、熱低の予報精度の向上に関して、大規模スケール循環の予報精度を向上させるとともに、熱低の力学を含むモデルの開発が望まれると述べて、現在の方法による予報の難しさを強調した。

(P. 218へ続く)

コーの発達特徴的な配列をした線状エコーの通過後に起きている。また、湾周辺の地上風、気温の急変によって、エコー発達域は強い収束場となった。

室戸岬レーダの観測では、室戸岬に豪雨(200mm/4 hr)の起きる数時間前から、円形のエコーがあらわれ、このエコーが室戸岬を通過後に豪雨が発生した。

次に、エコーの移動から求めた SPA wind の時間変化をみると、エコーの発達域付近ではエコーの発達し始める数時間前から強い収束場となっており、エコーの発達の弱まる時間には、SPA wind も発散の場に変化している。

現在進められているレーダ協同調査の「風および気温調査」で指摘している、エコーの発生や発達・衰弱の事前に予測することの可能性については、レーダ・アメダスのデータを併用することによってある程度可能である結果が得られた。しかし、このような現象は地域によって異なるので、多くの地域で事例解析を行なうことが必要であり、量的に予測するためには最大降雨強度、降雨の持続時間などの予測が重要となる。

レーダエコーの発達・衰弱について

中井公太(福井地方気象台)

東尋坊レーダサイトの、1976、1977年暖候期の観測スケッチ図を用いて、エコーの発達・衰弱分布を求め、その時間的変化と地域特性について調べた結果、次のことがわかった。

(1) エコーの発達・衰弱分布には、次の三つの特徴がみられる。(a) 発達域、衰弱域が停滞して移動しない場合(1976年9月13日)。(b) 発達域、衰弱域がバンド状に配列し、そのバンドが規則的に移動する場合(1976年4月23日)。(c) 帯状エコーパターンでは、その風上側に発達域が、風下側に衰弱域が分布し、立平の帯状エコー生成機構とよく一致する(1977年8月5日)。

(2) エコーの発達・衰弱には、地形の影響がみられる。エコーは山の風上斜面で発達する 경우가多く、風に対する山の勾配が大きいところでは、特に発達のパーセンテージが高い。

(3) エコー面積の増減を指標にして、発達・衰弱を調べた結果、エコーの上陸前1~2時間に最も発達するものと、上陸後2~3時間に発達するものとに分けられる。後者は、山の風上斜面に対応していると考えられ、(2)の特徴と一致する。

(P, 202より続く)

J.L. McGregor (Aust) は、6層プリミティブモデルを用い、各予報時間毎に熱低の周回データを修正しながら進路予報を試みたが、良い結果は得られていない。一方、力学的モデルにみられる系統的な誤差を統計的に修正する方法を、R.L. Elsberry・D.R. Frill (USA) が試みた。72時間内の異なった時間におけるデータを用いて、熱低の移動を含む予測子を決め、72時間までの12時間間隔の予報に対する回帰式を求めた。独立なデータに適用した結果、エラーベクトルで約20%改良された。熱低の移動は大規模場に支配されることおよび予報する時点で最適な回帰式を適用するという概念で、T.D. Keenan・F. Woodcock (Aust) は、熱低の移動予測を行なった。熱低の移動方向別に層別化を行ない、それぞれの範ちゅうの大規模場から回帰式を求める方法である。回帰式を用いる他の方法と比較した結果、約25%改良された。

熱低の強度予測について、L.J. Shapiro (USA) は、じょう乱が発達すると非線形項が卓越することから導いたパラメータにより、偏東風波動(アフリカン・ウェーブ)に適用した。1975から1979のデータを用いた結果によれば、発達する波については0~4日前に予測できたが、発達しない顕著な波に対しては予測が困難である。気象衛星データによる熱低の強度予測も、R.C. Gentry *et al.*, (USA) により試みられた。熱低近傍の相当黒体温度分布から回帰式を求め、24時間後の熱低に伴う最大風速を推定するもので、現時点で一応満足のゆく結果が得られたとしている。

これらの他に、フロリダのNHC (National Hurricane Center) やグアムのJIWC (Joint Typhoon Warning Center) における予報法のレビュー(N.L. Frank・J.W. Diercks; USA) や、気象衛星データ(赤外)を用いた熱低の強度推定法(V.F. Dvorak, USA) や、中心位置の決定法(島田, 日本)なども発表された。