

関係を論じた。物理的な過程を考察した後、1968年（太陽活動が極大の年）と1973年（太陽活動が極小の年）における太陽黒点数と地磁気の時系列のスペクトル分析を行なった。その結果、太陽活動によって生じ太陽黒点数の変化とよい相関を示す地磁気の変動が、気象的な変化をもたらす直接的な要因であるらしいことがわかった。たとえば、地磁気の変動から2～3日後に気圧の変化が起こっている。

### 3. 諸問題

以上、降水量、気温、風その他の長期変動に関して報告された諸現象をまとめると、次のようないくつかの問題が指摘されよう。

(1) 小氷期。日本においては、18世紀後半から19世紀前半は、小氷期であった。冬の平均気温は現在より1～2°C低かったと推定されている。問題点は、このような小氷期は、東南アジアにもあったのであろうか。この小氷期の南限はどこであったか。

(2) 近年における降水量の減少。京城では春と冬に特に明らかである。このような傾向は、モンスーンアジアの他の地域についても認められるか。この傾向の原因は何か。

(3) 韓国における降水量の1934年と1956/57年のピークと1939/44年の谷。このピークと谷は、日本における降水量の多い時期と少ない時期に対応している。同じような変動は東南アジアに一般的なのであろうか。この原因は太平洋寒帯前線帯の活動と関連があるのだろうか。

(4) 東アジアとヨーロッパの気候変動の相関。京城における1830～1940年の7月の降水量の変動は大きかっ

た。この時期はイギリスでは1月の気温は高く、6月と7月の気温は低かった。この2つの事実は、北半球における寒帯前線帯の活動が激しかったことと関連しているのではなからうか。この相関は、一般化してよいであろうか。

(5) ITCZ の位置と強さの永年変化。これについては、まったく研究されていない。将来、南アジアと東南アジアにおいて、これを研究する必要がある。

(6) Southern oscillation またはウォーカー循環の永年変化。太平洋地域におけるこのような循環に関連したいくつかの現象が南アジアや東南アジアにある。こういう現象をさらに多数見つけ出す必要があろう。

(7) 永年変化の局地性。モンスーンアジアの気象学、気候学、農業計画、水利用計画などに、この研究は極めて必要である。しかしながら、長年の観測資料が整っている地点が少ない。また、その資料を容易に利用できるようにする必要がある。

(8) 短期間のサイクルまたは変化。2～88年くらいの周期について、集中的に研究する必要がある。特に東南アジアについて必要である。また、東アジアや南アジアとその時代的・地域的な関係を示しておくことは、全世界の気候変化を理解する上に重要である。

### 4. あとがき

個々の論文については、1977年秋に英文で刊行されるプロシーディングを参照していただきたい。また、アブストラクトは Climatological Notes, Institute of Geoscience, Univ. of Tsukuba の No. 19 (1976) として刊行されているので、参考にしていただければ幸いである。

551. 509. 333; 551. 583. 14

## 3. 気候変動および穀物生産に関わるモデル化、

### シミュレーションと予測\*

朝 倉 正\*\*

気候、気候変動と穀物生産との関係を研究する分野は2通りある。1つは同時的かつ診断的な分野で、従来の研究はほとんどこれに入る。もう1つの分野は予測に繋がるモデリング、あるいはシミュレーションで、これは近年芽生えつつある若い学問である。今回のシンポジウ

ムでは第3日目の午前中がこれにあてられ、5つの論文が発表された。

それらを分類すると、高倉(千葉大)と H. Van Kulen (インドネシア) は気候要素が穀物生産に及ぼす影響を論じ、朝倉・田中(気象庁) は太陽常数の変化が大気大循環に与える影響を量的に算出した。さらに、Reid A. Bryson (ウィスコンシン大学) はインドのモンスーン雨量、和田(函館海洋) は北日本における夏の超長期予測

\* Modelling, simulation and prediction of the climatic change and crop production.

\*\* T. Asakura, 気象庁長期予報課.

を試みた論文が発表された。以上の内容から分かるように、1つ1つの論文は独立しており、全体を総合して1つの流れにまとめることはできないので、これらの論文の要旨をもって報告に変えたい。

高倉は改良した Forrester のモデル（ローマ・クラブの成長の限界に用いられたモデル）を用い、エネルギー解析を通して日本農業への影響を解析した。このモデルには人口、資本投下、天然資源、農業と汚染に投資される割合が含まれ、農業形態には耕作地によるものと、温室のような工業化された農業とを考えた。さらに、平均気温の穀物生産に及ぼす影響についても取り入れた。

シミュレートした結果によると、世界全体の態様がつり合うためには出生率のようなものの割合をかなり急激に減らす必要がある。また、温室栽培のような工業化された栽培が必要になるという。しかし、エネルギーはかなり集約的に使われ、生産物のエネルギーとの比が問題になるが、この比が100%をこすものは1つもない。すなわち産出されるエネルギーより投下するエネルギーの方が多いためである。もっとも大きいのは小麦の80%ついでトマトである。畑で作られるキュウリから1mgのビタミンCをとるために、4KCalが使われる。しかし、温室栽培では110Kcalのエネルギーが必要となり、価格はかなり高いものにつくことになる。

H. Van Kullen は米の生産に及ぼす気候要素の影響についてのモデルとシミュレーションを発表した。しかし、内容はかなり抽象的で、具体的な内容ではなかったようである。

気候変化が食糧生産に及ぼす重要性を評価するためには、まず天候と食糧生産との関係に注目しなければならない。しかし、農民の持つ畑は土地、植物および灌漑、肥沃化のような環境の相互作用によって大きく支配される。このような作用は多くのフィードバックがあるので原因と結果がはっきりしないし、統計的な解析では分からない。

力学的なシミュレーションは有力な武器である。陸稲と他のいろいろな種類の植物との分割の仕方をシミュレートするモデルを作って、テスト的に計算した結果は、半定量的にはうまくゆくようである。しかし、予報を目的としてモデルを利用するためには、その前に注意深く計画された実験と実際の世界の食糧生産との比較が必要になる。要するに、小規模な畑の生産モデルで全世界の食糧生産にまで発言できるかどうかということ、かなり問題が大きいように思われる。

つぎは気候変化を予測する基本的な1つの問題として、太陽常数が変わったとき大気はどの程度それに応じて変わるかを、朝倉・田中は栗原の統計的力学モデルを用いて計算した。太陽高度を年変化させ、3年目を初期の状態として、(i)ノーマルな太陽常数、(ii)3%太陽常数を減らした場合、(iii)3%太陽常数を増やした場合を、それぞれ1年間走らせて結果を比較した。その結果によると、太陽常数を±3%変化させると、大気の運動と気温場の変化を通して、大気加熱・冷却が変わり、全体を平均するとノーマルの場合にくらべて、非断熱加熱量が7%変化する。この変化量は勿論緯度によって変わってくる。太陽常数が減少（増加）すると、低緯度地方では加熱率が減少（増加）するが、高緯度地方では増加（減少）する。したがって熱源と冷源の強さは弱（強）まることになる。

太陽常数を±3%変化させると、半球平均気温は±0.4°C変化する。その大きさは季節的にも変化し、8月に最大、12月に最小になる。気温変化は勿論一様でなく、大気の運動によって変化されるので緯度によって異なる。大きな変化は北極地方と亜熱帯地方にみられる。大循環のエネルギーもまた加熱率と気温場の変化に伴って変化する。A<sub>z</sub>, A<sub>e</sub>, K<sub>e</sub>, K<sub>z</sub> は太陽常数が減少すると減少し、太陽常数が増加すると各種エネルギーも増加する。それらの変化量は季節によって異なり、冬に大きく夏に小さい。要するに、大気大循環は太陽常数が減少すると不活発になり、増加すると活発となる。しかし、ジェット流の位置は余り変化しないが、太陽常数が減少すると亜熱帯ジェット流の風速は少し減少する。

これらの結果は定性的には他の研究者の結果と合うが、定量的には違っている。これはこのモデルではフィードバックの機構を取り入れてないためと考えられる。

R. Bryson はインドの月降水量を1年前から予測する可能性を試みた。Bryson は地軸の移動に注目し、Spitaler や松倉がすでに指摘しているように、気象要素への影響について重視すべき結果を発表した。Bryson は、チャンドラー運動として知られている運動周期を5つの分振動に分解したところが新しい試みである。そして、分振動と同じ周期の現象が大気にも影響して現われていないかどうかを調べた。1例として、インドのプーナにおける7月の雨量のスペクトルをとると、つぎのようによく一致していることを発見した。

極運動の分振動（周期/年）0.853, 0.835, 0.899, 0.867, 0.807

プーナの月降水量（周期/年）0.851, 0.833, 0.899,  
0.868, 0.804

チャンドラー運動と大気との関係は非線型で、その理論もよく分かっていないが、経験的な関係を用いて1年前から各地点の月雨量を予報することができ、予報成績のスキルスコアは有意だという。

和田は超長期予報と食糧問題についての研究を発表した。近年、天候の変動幅が大きく、その予測の重要性はWMOでも指摘している。日本の食糧問題を考えると、北日本の夏の天候が重要で、その超長期予報は農業計画をたてる上で貴重な情報になる。ここでいう超長期予報とは、10年以上先の大規模な天候を予報することである。

北日本の冷夏は北半球の循環場と関係があり、とくに著しい低指数循環やブロッキング高気圧と深い関係がある。最近、100mbのチベット高気圧と北日本の夏の天候との関係が問題になっている。このようなパターンが予想できれば夏の天候の予想ができるのだが、その方法はかなり難かしく、必ずしも確立された方法があるわけでない。ここでは、現在日本で使われている長期予報の方法を超長期予報にも適用している。

すなわち、

- (1) 近年の天候特性
- (2) イギリス中部の気温と北日本の冷夏との関係
- (3) 北半球における循環場の長期変動
- (4) 太陽活動と北日本の夏の天候

これらの結果を総合すると、北日本の天候は1983～1988年に冷夏になることが予想される。そして、この頃、数年にわたって世界的に異常天候の夏が現われ、1934、1935年のように米国中部では大旱魃が発生することもありうる。そうなったら、日本の食糧需給だけでなく世界の食糧にもかなりの影響を与えることになるだろう。

問題点のまとめ

(1) 穀物生産と気候のシミュレーションはどの気候要素がもっとも重要なかが明確にされていない。アジア地区をとってみても降水量、気温、日照のどれももっとも重要なかが地区によって違っている。また、品種による違い、植物生理による違いなどモデルを作る以前の基本的なことが分かっていない。

(2) 気候および気候予測については、力学的方法の重要性が指摘され、とくにフィードバックのメカニズムをどのように取り入れるかが残された1つの問題点である。統計的手法による予報法の開発は当面有用であろう。