

湿原の気象と変動

はじめに

縄文時代の末期、わが国の南部地域に水稻の種が播かれていた約二千年の間、わが国の湿原は水稻栽培の適地として、周辺住民や指導者達は何の抵抗感もなく、むしろ積極的に水田化の努力を押し進めてきた。それは、度重なる飢饉や戦争による食糧難に克服するための当然の行為であったと言える。そして食足りた現在、その湿原を保護の対象物として見なおした時に残っていたのは、北方寒冷地域や山間高冷地のように農業開発が技術的に非常に困難か、あるいは投資をしてもあまり経済価値のない地区のものだけだったというのが実情である。このようにわが国の湿原が主として、水田に転換されてきたことからわかるように水田と湿原とはかなりの共通点を持っており、そのためあまり高度な技術をもってしなくても転換が容易であったとも言える。

言い換えるならば、水田は植生が水稻という単一植生で、養分管理はほぼ一〇パーセント、水管理はほぼ九〇パーセント、熱管理は五〇パーセントなされた人工の湿原とも言えよう。そのため湿原の局地気象的、微気象的な動態は基本的には水田にかなり似た動きを示す。もちろん湿原の場合は蘚苔類から草本、木本類まで、土壌も高位泥炭から無機質土壌まで種々雑多であり、それにもなつて湿原とその周辺の気象の動態はかなり複雑な動きを示すことになる。

また、湿原それ自体は地形・気候・生物の微妙なバランスの下で成立していることは

言うまでもないが、それはとりもなおさず、地質学的な時間スケールから見れば常に変化している、かなりダイナミックなものであると言えよう。この湿原の長期的な変化、それは湿原の成立過程でもあるが、ついでには地質学者にゆずるとして、ここではわれわれが実感できる時間スケールでの湿原の気象と、その変動について述べることにする。

湿原の気象調査

わが国で気象学者や気候学者が湿原を研究の対象として見はじめたのは、それほど古い話ではない。開発の対象地区としての研究はむかしからなされてきたことは事実だが、湿原周辺の気象条件、気象現象を平均的に記述するのがせいぜいで、湿原の内部に踏み込んだ研究がなされるようになったのは昭和三十六年にはじまり、十年間にわたって続けられたサロベツ総合調査、気象部門の活動が最初であろう。もっとも、この調査も目的は湿原を開発することにより自然環境・社会環境がどのように変化するかを知り、今後の開発に役立てることにあつたのだが。

このサロベツ総合調査の気象部門は、札幌管区および稚内地方気象台を中心とした一般気象班、農林省北海道農業試験場の特殊気象熱収支班、北大農学部の特気象微気象班に分けられていた。私がこの総合調査に初めて参加したのは学部学生のところであり、観測補助員として熱収支班に加わることができたのは、今となっては非常な好運であつたと思つている。その後、毎年サロベツ原野へ通うこととなつたが学生時代、あの広い原





野に立った時の感動は終生忘れることができないうであろう。

ところで、気象や気候の研究はスケールを小さくすればするほど解析が難しくなると言った著名な気候学者がいた。大スケールの研究が易しいというわけではないが、小スケールになるにつれて考慮に入れなければならない要素が増えてくることを言いたかったのである。このサロベツ原野における気象部門の取扱った地域の広さは、気象学・気候学では局地的・小規模なものであり、あまり研究の進んでいない分野でもあったので、調査・観測・解析に当っての苦労は大変なものであった。気象観測技術がアスマン通風乾湿計や曲管地中温度計のように直読式の計測器が主体であった昭和三十年代前半までは徹夜観測が多くて計器の読取に苦労が多かったが、昭和三十年代後半からは次第に電気式の自記記録装置が使われるようになってくると、それらの装置は元来室内実験用であつたため、湿原の真中で使うには電源の確保・装置の維持管理に多くの労力が費されるようになった。

たとえば昭和四十三年夏にサロベツ原野で行った蒸発散量の測定にはアスマン通風乾湿計を一部改良してサーミスタを感温部として用い、高さ一メートルと五メートルの間を滑車を用いて手動で上下させて二点の湿度を直読し、風速も多段式小型ロビンソン風速計で直接読取るという簡単な方法であつたが、昭和五十六年夏に釧路湿原で行った調査では、高さ一メートルと四メートルに設けた熱電対式通風乾湿計や光電式風速計・風

向計・日射計・純放射計からの出力はデータ集録装置で一次処理してからマイクロコンピュータを通して、フロッピーディスクにデジタル値で記録する。さらにそのフロッピーディスクを大学に持ち帰って大型計算センターで解析するという観測システムをとつた。この方法では電源供給が大変な労力で、重さ二〇キログラムほどの六〇アンペア・アワリーのバッテリーを約二時間に一回の割合で交換しなければならなかつた。このようなわけで湿原の気象については豊富な調査例があるわけではないが、サロベツ原野で十年間にわたって行われた調査結果を中心に話を進める。

湿原の水位変化と地表面熱収支の変化

地表、植物群落も含めて、地表に与えられる熱はすべて太陽から供給される。それはあまりにもあたりまえのことであり、改めてここで述べることもないのであるが、しかしその熱が地表でどのようにに変化し、消費されているかがその地域の気象環境を決める一つの要因となっている。少し専門的になるが、ご容赦いただきたい。太陽から供給される熱は日射（太陽放射）と言うがそれがすべて地表で吸収される訳ではなく、一部は反射によって、一部は地表面自体から放出される長波放射として上空へもどって行く。このように地表に出入する放射の差、すなわち地表に正味吸収される放射を純放射という。この純放射は植物や地面に吸収されたのちにただちに地表近くの気温を暖めるのに使われたり（この熱を顕熱と言ひ、このような熱の伝わり方を顕熱伝達と言ふ）、植物の茎葉や地面から水分が蒸発するときに蒸発の潜熱として使われる。なお、植物の茎葉からの蒸発は正しくは蒸散とよび、地面からの蒸発と区別している。蒸発と蒸散は合わせて蒸発散と呼び、このような熱の伝わり方を潜熱伝達と呼んでいる。顕熱・潜熱に使われたあと残った熱は一部は植物体温の上昇に使われるが、ほとんどの部分は地中に伝わり地温を高めるのに使われる。これを地中伝達熱量とよんでいる。

このような地表面における熱の出入を熱収支と言っているが、この熱収支は地表の状態で大きく変ってくる。図二はいろいろな地表状態のときの熱収支の日変化を示したものであり、森林や湿った草地・水田では潜熱に使われる割合が大きく、乾燥した裸地では顕熱すなわち空気を暖めるのに使われる熱量が多くなってくる。

サロベツ総合調査の自然科学諸部門の調査の主体は、上サロベツ原野を横切つて掘削

図-1 放水路横断観測線上の地表面地下水面の変化
(サロベツ総合調査報告書より)

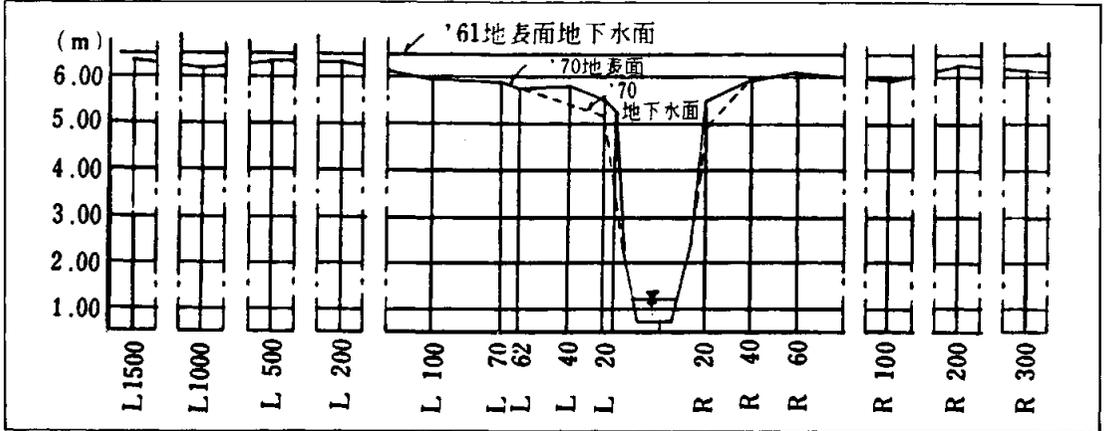
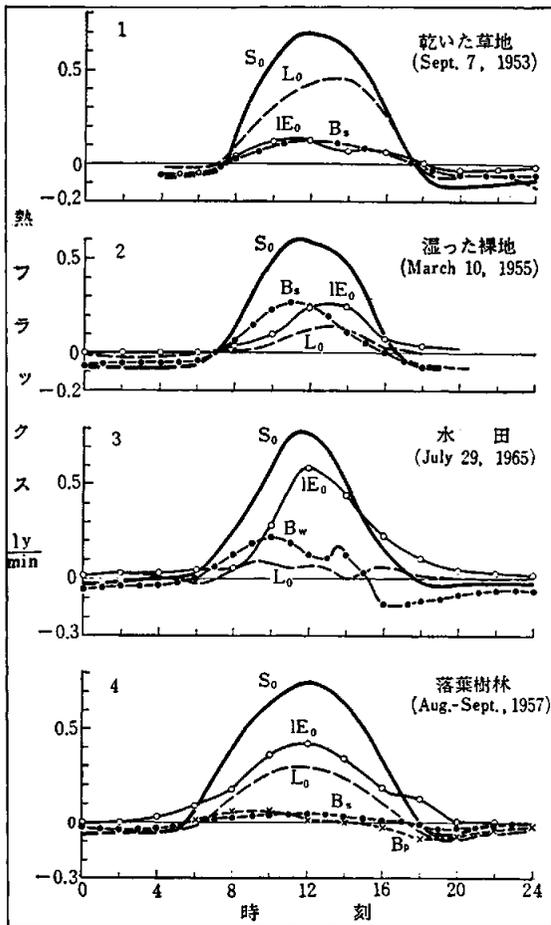


図-2 色々な地表面の熱収支

1. Lettauら (1951)
 2. 瀬尾 (1962)
 3. 蒸発散研究グループ (1967)
 4. Rauner (1972)
- (農業気象ハンドブックより)



されるサロベツ放水路がサロベツ原野の自然環境に与える影響について追跡調査したものであり、気象部門も同様であった。放水路の影響はまず周辺の地下水位の低下として現われ、表層土の乾燥化をもたらした。このことは当然地表での熱収支にも明瞭に現われ、昭和三十六年の湿润状態の時には純放射の大部分が蒸発(潜熱)に消費されていたのに対し、昭和四十二年の乾

燥状態では潜熱で使われる熱よりも空気を暖める顕熱として使われる熱がはるかに多くなり、相互の関係は逆転している。また土壌を暖めるのに使われる熱は湿润時の方が多し。しかし土壌が濡った状態では後述するように熱容量が大きいため、使われる熱が多くてもあまり地温は上昇しない。

地下水位の低下等にもなう地表の乾燥化の影響はこのように直接現われるものと、乾燥による植被相の変化にもなう生じるような間接的な現われ方をすることがある。

たとえばミズゴケ等におおわれていた高位泥炭地にササなどのようにやや丈の高い植物が侵入してくると、今まで地面のごく近くで行われていた熱交換がササの葉の密生した部分、すなわち地面から数十センチメートルほど上方に移動することになる。そのため地面に到達する放射(光)はかなり減少してしまう。その極端な例が森林である。サロベツ原野における樹林での観測例はないが、釧路湿原で昭和五十六年夏にわれわれが調査した結果では、それらの現象が明らかに見られた。

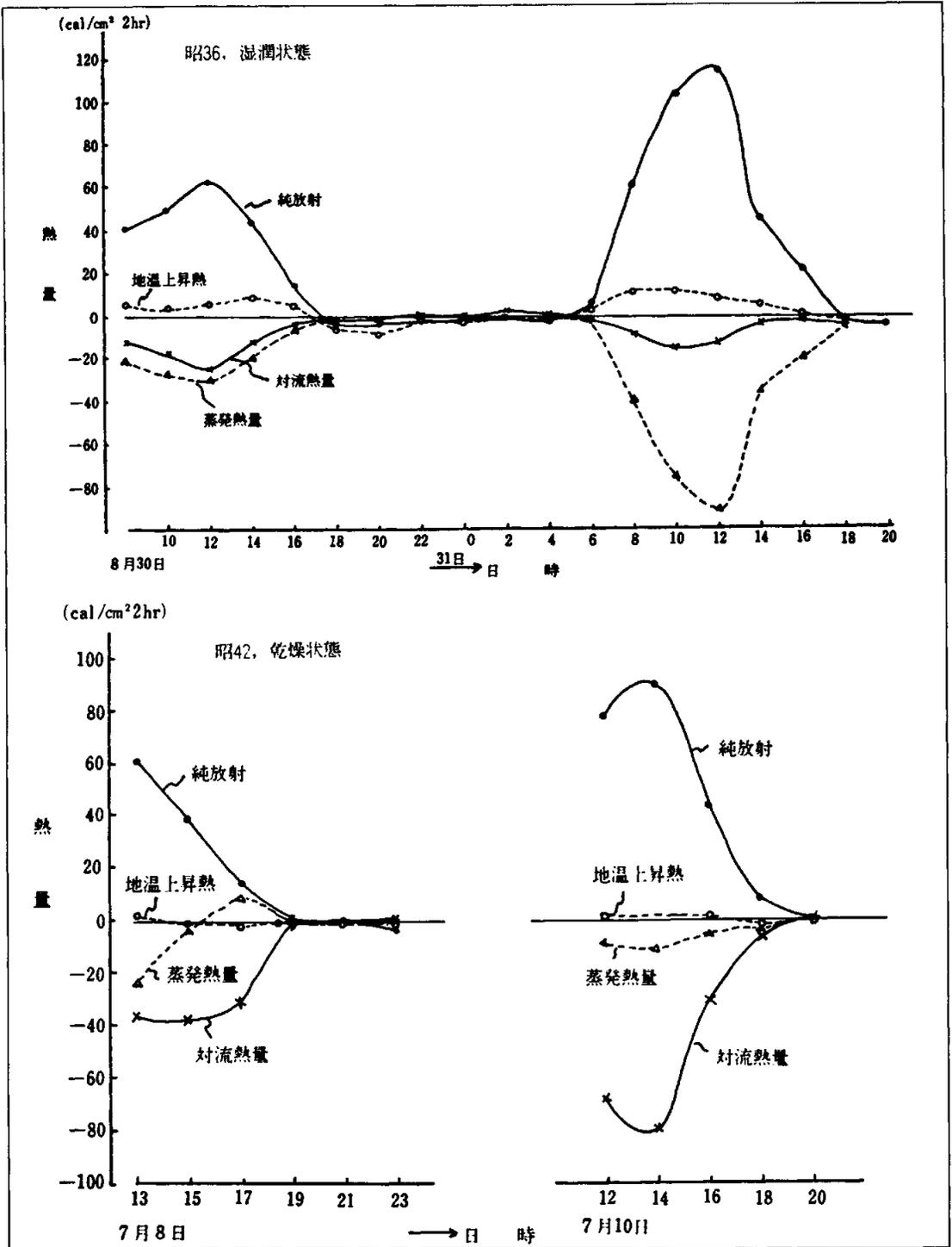


図-3 サロベツ原野の湿潤状態・乾燥状態時の熱収支の比較
(サロベツ総合調査報告書より)

植生が変化すると日射の利用率も変わってくる。たとえば米国ミネソタ州の中央北部には二八〇万ヘクタールの沼沢地が広がっており、ミシシッピ、レイニイ、レッド、セントルイス河の水源地帯となっているが、下流域での水需要の拡大に対処するため、この沼沢地での水文システムが調査されたことがあった。その結果、冬期におけるスゲを主体とした草本群落地では、ブラックスプルス（アカエゾマツの一種）林に比べ日射の反射率（アルベドとも言う）が、やや高いことがわかった。そこで、森林を伐採し草本群落を増すことにより日射の利用率を減少させれば、それが雪の蒸発による消費を減らし、水資源の確保につながるのではないかとの大胆な推定を下した論文もあった。自然保護の立場からは、かなり問題のある推論である。

湿原の水位変化と接地微気象の変化

湿原が乾燥すると、今まで蒸発の潜熱として使われていた多くの熱が気温を高める顕熱の方にまわってゆくようになる。また地中の土壌水分が少なくなると、土壌の熱容量が少なくなり、わずかな熱でも、湿潤土壌に比べ地温の上昇が顕著となる。まず、地中の

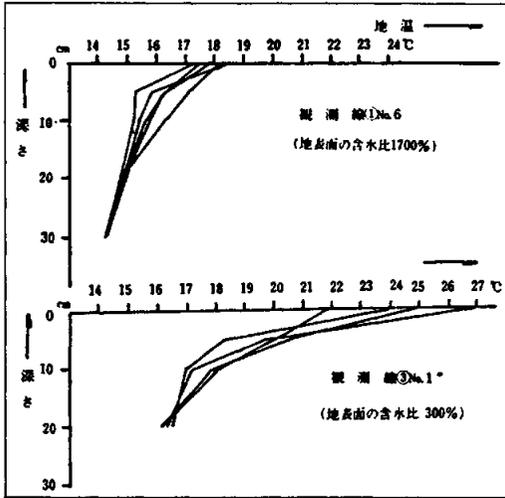


図-4 湿潤地乾燥地の地温の同時曲線 (昭39.8.7) (サロベツ総合調査報告書より)

温度分布を見てみる。図四は湿潤地と乾燥地の地温垂直分布であるが、乾燥地の方が表面近くでの温度の時間変動は大きい。深さ二〇センチメートルになるとほとんど見られず、温度勾配も湿潤地に比べてかなり急となっている。これは先の熱容量の差ばかりでなく、乾燥化にともなう土壌熱伝導率の減少も原因

の一つである。すなわち、表面の温度が図に見られるようになり高くて熱伝導率が小さいため、地中への熱伝達が妨げられていることが原因である。これと逆の現象が夜間に起こり、大きな問題となっているのであるが、くわしくは後述する。

乾燥地での地表温度が日中湿潤地に比べ大幅に上昇するということは、その上層の空気が暖められることを意味する。図五は昭和三十八年夏に北海道農試が実施した調査結果を用いて湿潤地・乾燥地のイソプレットを描いたものである。時間を追って両者を比較してみると、最低気温は両地点とも四時に現われているが、乾燥地の方が〇・三度摂氏ほど低く、さらにその出現位置が地表二〇センチメートルで、湿潤地で一メートルであるのに比べかなり下である。このことは乾燥地の地表面温度が一・二・八度で上空の最低気温との差があまりなかったのに対し、湿潤地では一四・〇度で地表近くの気層への熱供給が可能なほど高かったため、地表からやや離れた位置に最低気温が出現したものと考えられる。これとは逆に、日中一〇時から十五時までは乾燥地の地表付近では気温の高い気層がかなり上まで広がっている。これも地表の高温な気塊が浮力により上昇し熱を運ぶためである。この時の最高気温は、乾燥地の方が二・一度も高い値を示していた。

このように土壌の水分状態が変わっただけでも接地気象は、かなり大きな変化が現われてくる。したがって植生が変ることによる変化はさらに大きなものとなる。また、このような調査観測は夏ばかりではなく、年間を通して実施したならばかなり面白い結果が出るであろう。そのためにはかなりの費用がかかるであろうが、一例としてアラスカ、パーロー近くのツンドラ地帯で実施されたかなり大がかりな微気象観測の結果から気温・地温垂直分布の季節変化を示すと図六のごとくなり、真冬には雪面温度はマイナス三五度摂氏にもなり、六月一日でも地温は零下、九月一日には早くも零度近くとなっていることがわかる。また、植生の繁茂により気温分布も影響されていることが七、八月の分布から知ることができる。サロベツ原野や釧路湿原、その他大小様々な湿原ではどうなっているであろう。

湿原の水位変化と局地気候の変化

湿原の地下水位が低下し、表面が乾燥してくると、土壌の熱伝導率、熱容量の減少に

ともない、夜間の最低気温が下りやすくなることはすでに述べた。この現象が数キロメートルの広がりて確認されたのが、稚内气象台を中心としたサロベツ原野一般気象調査においてであった。この調査では、通常の気象観測業務観測点のほかに六地点のサロベ

ツ地域観測所を設けて放水路掘削前後の局地気候の変化を解析し、得られた値の緯度補正、海岸からの距離による補正の行い、取扱うデータの総観的な背景の十分な考慮の下に比較したものである。その結果の一部はすでに本誌十六号に掲載されているので省くが、局地気候研究

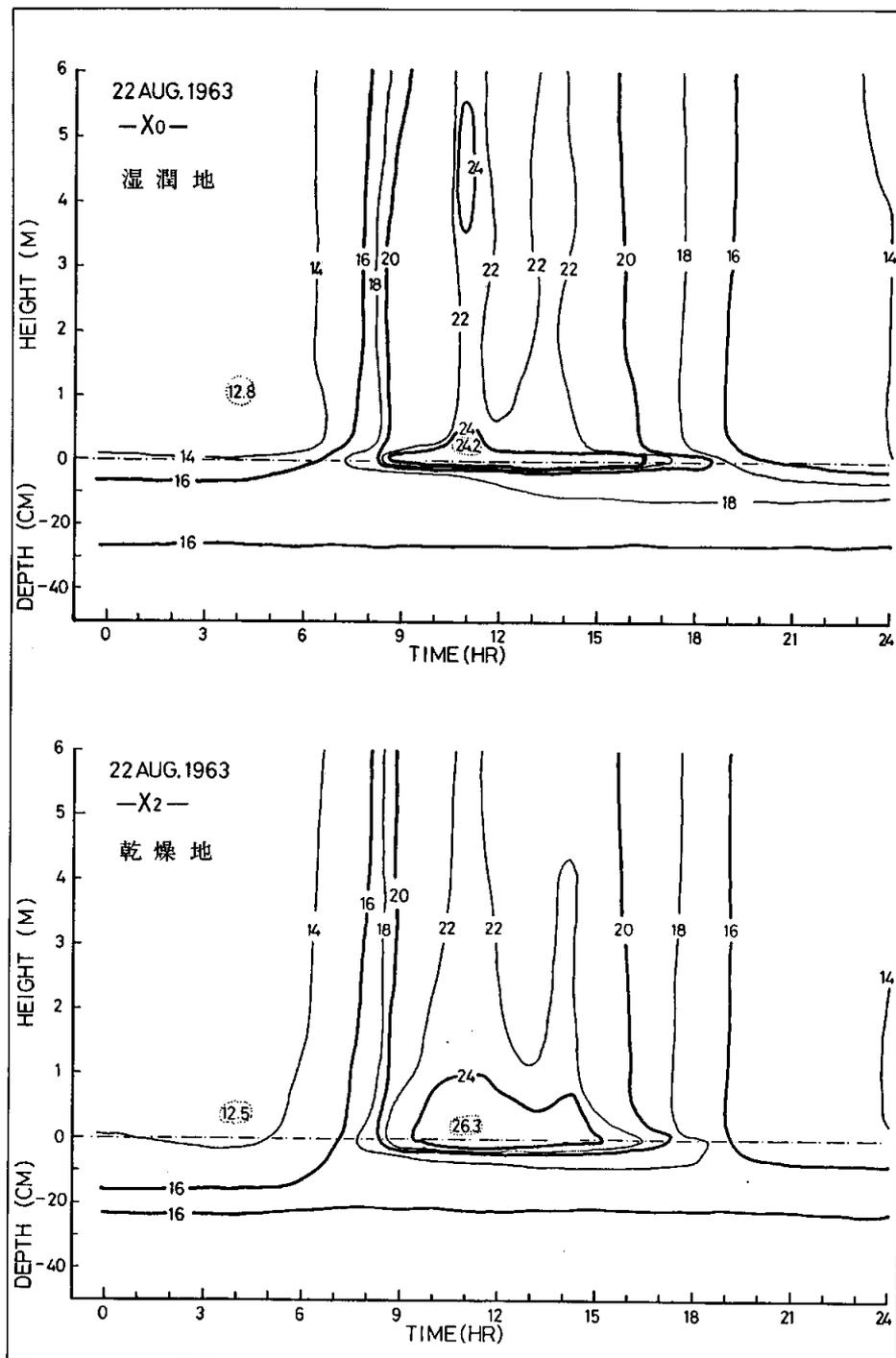
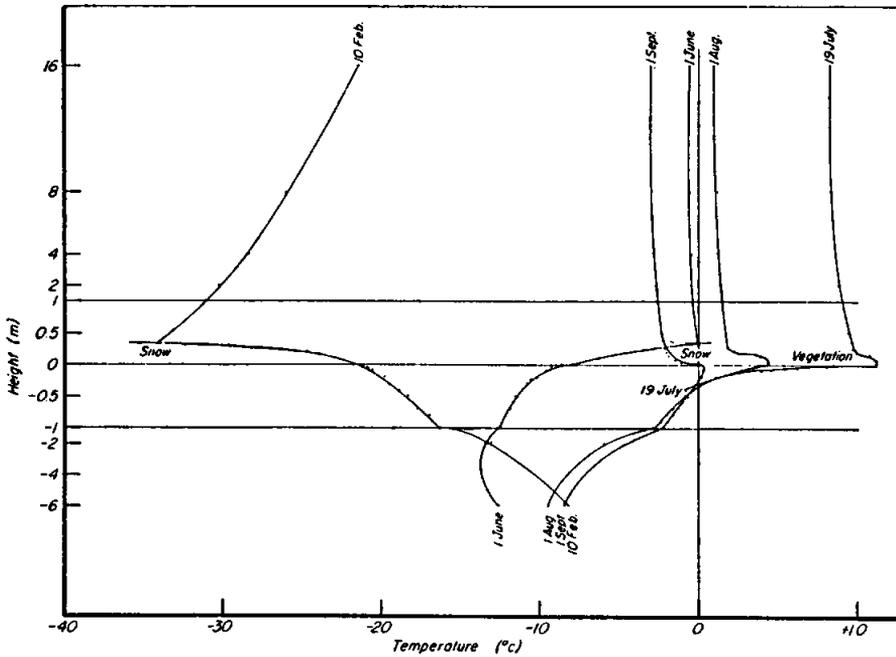


図-5 サロベツ原野湿潤地・乾燥地上の温度イソプレット
(サロベツ総合調査熱収支班のデータ使用)

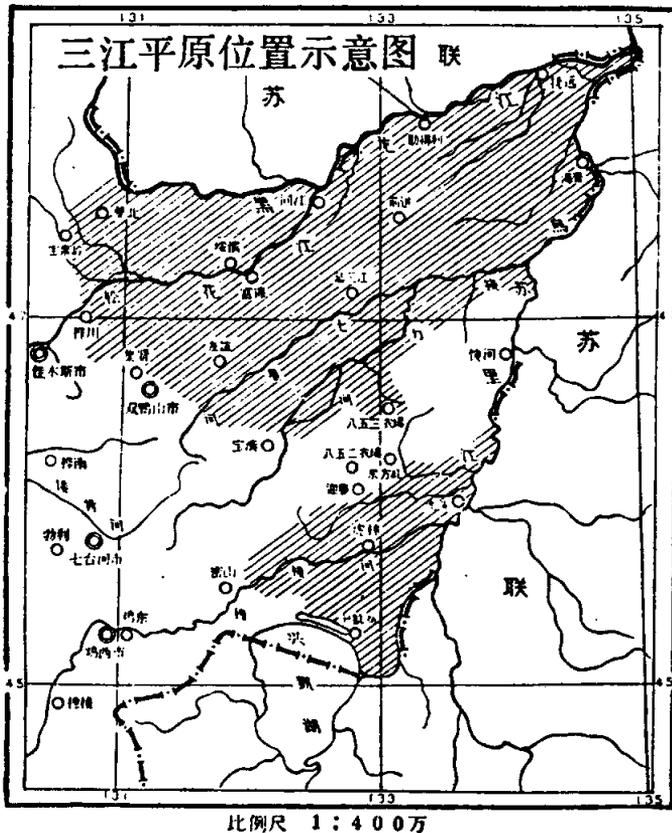
の中で一つの大きな成果であったと思っている。この最低気温の低下現象が具体的な形で現われたのが、昭和五十二年にサロベツ原野でエゾカンゾウが花を咲かせなかった現象である。これについては前出本誌十六号に北大農学部梅田先生がくわしく書かれているのでご覧いただきたい。この夜間気温の低下現象がさらに大規模に起きていたのが、北米フロリダ半島のエバレーズ地域である。この件につ

図-6 アラスカ、パーロー付近のツンドラ地帯の温度垂直分布の季節変化
(G. Wellerら、1974)



に拙文「フロリダ半島エバークレイズの農業開発と自然保護」があるので詳細は省くが、この地域は元来一〇、四〇〇平方キロメートルに及ぶ大沼沢地であった。この中的一部分、二、〇〇〇平方キロメートルは一九一〇年ごろから排水工事が進められ農業開発が進展してきたが、一九六〇年代からこの農業開発地域の夜間気温が周辺地域に比べ、数度低

図-7 中国三江平原の位置
(長春地理研究所沼沢研究室、1981)

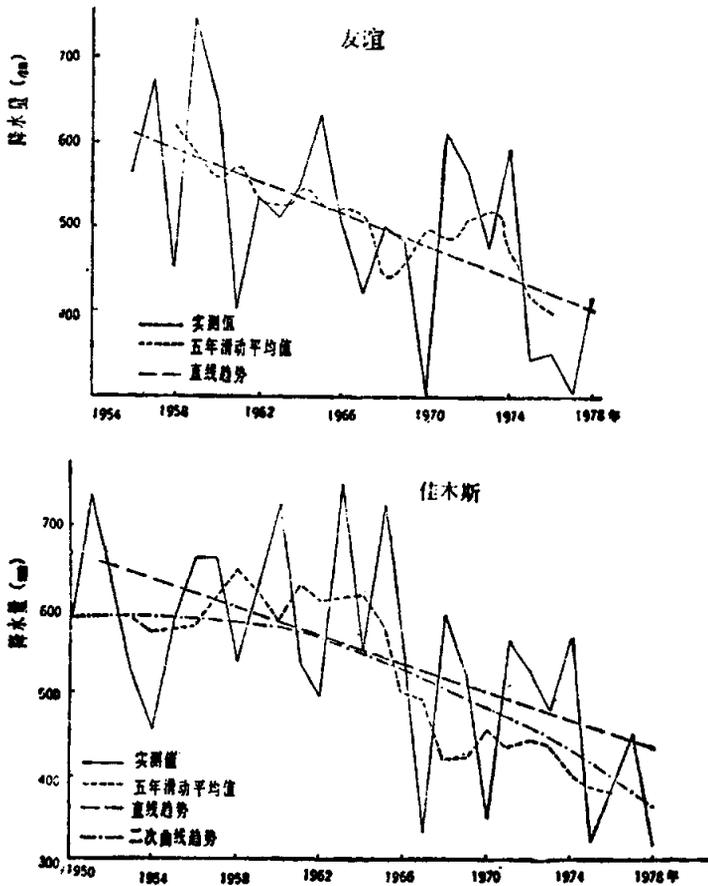


湿原の乾燥化は気候の熱的動態にかなり大規模に影響を与えていることが以上のことで判ってきたが、次により大規模なスケールで起きている水循環の変化の例をご紹介します。それは現在、北海道大学に留学中の趙煥辰氏が所属する中国科学院長春地研所沼沢研究室が中心となってまとめた研究である。研究報告によれば、中国東北地方北部に広がる三江平原では一九五〇年まではほとんど農業開発が行われていない沼沢原野で

湿原の水位低下と水循環の変化

いという報告が出されるようになった。この事実を人工衛星で確認したのがフロリダ大学のチエン氏らである。

図-8 中国三江平原地域での降水量の経年変化
(長春地理研究所沼沢研究室、1981)



あった。その後、人民解放軍による大規模な農業開発にともない一九七九年までに三〇〇万ヘクタール、実に三江平原総面積の三六%にも及ぶ耕地が開墾され、中国の大食糧基地としての地位を確立した。しかしそのころから、この地域における降水量は次第に減少の傾向をとりはじめ、図八に見られるごとく一九五〇年ごろに比べ一九七〇年代後半にて約六〇〇ミリから四〇〇ミリまで減少してしまった。その原因は、同報告によれば中国東北方全体を支配している約二〇年周期の気候変動が主であるとしながらも、人類活動の影響、すなわち沼沢地の乾燥化の影響も見逃せないものとしている。

おわりに

湿原という言葉の意味を特に深く考えずにあちらこちらの例を引っぱり出してきたが、気象学や気候学からみると水が多くて湿っていれば湿原や沼沢地はかなり似たような動きをしていると言えるので、多少主題からはずれた面があればご容赦いただきたい。

(北大環境科学研究科助教授)

引用文献

- Bergland, E. R. and A. C. Mace, JR. (1972): Seasonal Albedo Variation of Black Spruce and Sphagnum-Sedge Bog Cover Type. *Jour. Appl. Meteor.*, 11, 806-812.
- 中国科学院長春地理研究所沼沢研究室(一九八一): 三江平原自然環境変化と合理開発利用の初歩探討、地理学報、三六卷、三三一-四六、北海道開発局(一九七二): サロベツ総合調査報告書、泥炭地の生態Ⅳ、気象部門、四四頁。
- Chen, E., L. H. Allen, JR, J. F. Bartholic, R. G. Bill, JR, and R. A. Sutherland (1979): Satellite-Sensed Winter Nocturnal Temperature Patterns of the Everglades Agricultural Area. *Jour. Appl. Met.*, 18, 992-1002.
- 高橋英紀(一九八〇): フロリダ半島エバークレイズの農業開発と自然保護、北海道自然保護協会誌、一九、四二-四四。
- 梅田安治(一九七七): 咲かなかったサロベツの花、一六、一〇-一一。
- Weller, G. and B. Holmstrom (1974): The Microclimate of the Arctic Tundra. *Jour. Appl. Met.*, 13, 854-862.