

「気候変動とそれが食糧に及ぼす影響」 に関するシンポジウム*

去る10月4日から8日まで、筑波および東京で標記シンポジウムが開催された。そのプロシーディングは後程発行される予定であるが、10月7日に気象庁講堂で行なわれた特別講演および10月8日に経団連ビルで行なわれたまとめと討論について報告する。特別講演の翻訳については、久保田効、能登正之の両氏に労をわずらわした。また、まとめと討論については、シンポジウムでまとめを行なった内嶋善兵衛、吉野正敏、朝倉正の各氏が、その内容を要約し、翻訳したものを報告する。

551, 582, 1; 551, 583, 2; 632, 1

1. 南アジア、東南アジアおよび東アジアにおける 気候変動と食糧生産**：総括報告

内嶋 善兵衛***

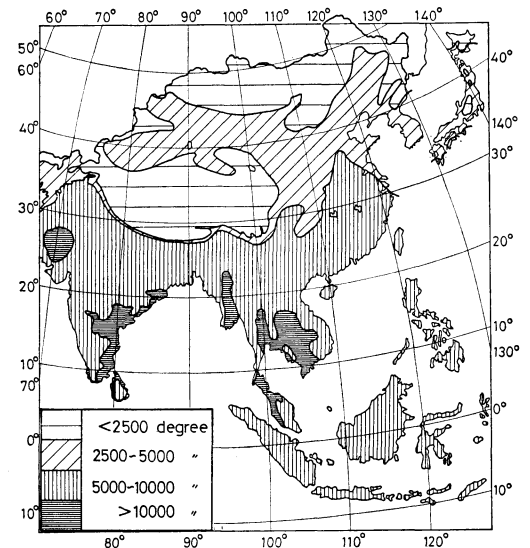
1. はしがき

筑波大学で開かれた気候変化と食糧問題に関する国際シンポジウムの第2日目（1976年10月5日）には、気候変動と作物生産に関する14編のレポートが、気候変動と食糧生産のテーマのもとに7カ国の参加者によって提出された。本報告の主要目的は、提出された報告の主要結果を要約提出すると同時に、それらの理解に必要な対象地域の農業全般に関する若干の情報を提供することである。

2. 報告された主要な事項

2-1. 温度供給

よく知られているように、イネ気候の特徴は栽培期間を通じて高温で、しかも水分が豊富に供給されることである。第1図に示されているように、有効気温の積算値で表わされる温度供給度は、南、東南および東アジアの大部分の地域において、イネ、コムギ、トウモロコシなどの主要作物の栽培にとって十分である。しかしながら、2,500度日の等値線に近い黄河以北の中国、朝鮮半島の北半分および日本の北半分では、栽培期間の温度供給が夏作物、とくにイネの栽培にとって不足することが



第1図 東南、東アジア地区における有効積算気温 (ΣT 10°C) の分布

しばしばあった。このような理由から、この日、日本から報告された研究の約80%が、気温変動の特徴およびそのイネ生産への影響を分析し討議している。

高橋（筑波大）・根本（埼玉大）は、社会・経済的な条件に考慮を払いながら、わが国に古くから遺されている様々な季節現象および社会現象に関する記録を解析し

* Symposium on Recent Climatic Change and the Food Problems.

** Crop production in relation to climatic change in South, Southeast and East Asia.

*** Z. Uchijima, 農業技術研究所気象科.

た。そして、近世史上における三大飢饉：天明飢饉(1782～1787)、天保飢饉(1833～1839)、慶応一明治飢饉(1866～1869)：が主として夏における極端な低温にもとづく広汎な食料不足に由来することを明らかにした。これらの資料から、それらの大飢饉は東北地方で人口の急激な減少をひき起こしたことを示している。このほか、大小様々な飢饉および不作が発生した直後には米の値段が急昇し、大なり小なり社会不安が発生したことを報告した。

明治維新(1868)によって、国外の様々なすぐれた農業技術を輸入することが可能となり、それらを基にして農業技術の改良と農業生産の発展が図られた。彼らが指摘しているように、明治維新後の日本農業の定常的発展はわが国の近代化の歩みを進める上で重要な役割を果たしてきた。とはいっても、夏における低温はその後においても東北地方および北海道地方のイネ生産にしばしば厳しい影響を与えてきた。関連資料の解析から、高橋・根本はそれらの地域の人口増加率がイネの大不作の発生した直後の年に明確に落ち込んでいることを見出した。これは、大不作による餓死者の発生は社会制度の変化によってなくなったが、冷害とよばれるイネの大不作は社会全体に大きな傷を与えることを物語っている。

わが国の温度状態の長期変化を研究するために、彼らは、17世紀初頭からよく保持されている諏訪湖の結氷記録を統計的に処理した。そして、イネ生産に危険な冷夏が約80年の周期で周期的に発生していることを見出した。冷夏の80年周期的発生は、太陽活動にみられる80年周期と関係していると彼らは考えている。そして、太陽活動(黒点数の消長に表わされる)の周期的活動と冷夏発生の周期とが将来も同調的に行なわれるだろうという仮定のもとに、彼らは将来の天候予想を行なっている。その結論によると、21世紀の初頭は現在よりも冷たい期間になり、それはわが国の農業生産に若干大きな不作をもたらす、社会生活に若干の混乱がもたらされるだろうといっている。

北半球上にある観測所のデータを使用しながら、内嶋(農技研)は作物への熱供給の定量的指標である有効気温積算値の長期変化をしらべた。その結果、有効気温の積算値はかなり明確な組織的な変動をしていることがわかった。北緯30度以北の地点では、1920年代から1950年代にかけては温暖であったが、1870年代から1920年代にかけては平均値より低く冷涼な時代であった。1950年代以来、この緯度帯の熱供給量はずっと下がり続けてい

る。彼の解析から、過去100年間に、熱供給量は300～400度日変動したことがわかった。熱供給量の少ない高緯度地帯は、気候の不適な変動をうけやすいことがわかった。リターンペリオド分析からの結果が、ある時間間隔内に1回起こると予想される異常気象を予想するために用いられた。コメ生産に対するそのような異常気象の影響が、コメ収量と気象条件との関係を用いて推定された。30～40年に1回起こると思われるような異常気象(低温によって)で積算気温の等値線の南下が発生すると、北海道地方では約40%も減収するかも知れないことがわかった。しかしながら、日本の南部地域では、温度低下の予想される影響は非常に少ないということがわかった。

谷(農技研)は、冷夏、早魃、強風、降霜などの不良天候にもとづく不作に関する記録と研究の広汎な紹介を行なった。彼の調査によると、6世紀以来の日本の厳しい飢饉は近似的に周期的に発生していることがわかった。すなわち、厳しい飢饉の発生頻度は8～9世紀、15～16世紀、および18～19世紀において高く、逆に10～11世紀、13世紀および20世紀には低かった。今世紀においても、日本のコメ生産、とくに北海道・東北地方のそれは悪い夏の天候によって減収した。そのような年としては1902、1905、1913、1934、1941、1945、1953、1954、1956、1964、1966、1969、1971、1976年をあげることができる。

関東以北の地域の米生産を安定・向上させるために、農家および農業科学者の多くの努力が長年にわたって注がれてきた。そして、種々な改良技術が工夫されて広く採用され、これによって米の収量は定常的に上昇している。谷は、これらの改良技術を次の3つに分類している：

- (1) 作物一天候カレンダーを用いての悪い天候の回避
- (2) 低温抵抗性の高い新しい品種の育成
- (3) 冷害を防ぐための種々な対策の適用

鳥山(北海道農試)は、討論を進めるにさき立って、減収の生理学的理由を考慮しながら、夏期の低温にもとづくイネ被害を3つのタイプに分類した。すなわち、(1)遅延型冷害、(2)障害型冷害、(3)混合型冷害の3つである。日本の最北端である北海道においては、遅延型と障害(不受精)型の両被害が同時に発生することが多く、米の大きな減収をもたらす。一方、東北地方(わが国の主要米生産地)の大きな減収は主として遅延型冷害によることが報告されている。このような理由から、遅延型

に抵抗性の高い、すなわち多収性でしかも早く稔るイネの育種が、冷害対策の研究における最も重要な目標として設定された。10年以上にわたってなされた集中的な努力によって、時代を画する品種“藤坂5号”が1949年につくり出された。鳥山が指摘しているように、“藤坂5号”およびその他の改良品種の育成それに伴っての改良技術の採用は、東北地方における遅延型冷害の発生を大きく抑制することに成功し、日本における米生産の向上・安定化に大きく寄与した。

また、鳥山は数多くの標本のなかから、不受精をひき起こす障害型冷害に、より強い系統を選び出すのに、予備選抜（冷たい灌漑水による処理）と本選抜（冷気・冷水処理のできるファイトロンによる処理）の組み合わせは非常に効果的であることを報告している。このような選抜方法を用いることで、現在障害型冷害に最も抵抗性の高い品種“早雪”が育成され、現在、日本の最北端地域で栽培されている。イネの不受精現象の生理学的特徴を説明しながら、鳥山は次のようなことを強調している。すなわち、さらに耐冷性の強い品種を育成するには、世界中にちらばっているイネの遺伝資源を収集し利用することが非常に大切である。

佐竹（北海道農試）は障害型冷害の発現の生理学的メカニズムをより詳細に研究した。イネの障害型冷害は出穂期または開花期の危険なほどに低い温度によって小穂上の籾が不受精になるためである。イネの冷害における遅延型と障害型の間最も顕著な違いは、前者が稔実期の天候のよい場合にはかなり回復できるのに反して、後者ではたとえ稔実期の天候が良好でも回復できないということである。イネは低温に対して特に敏感な2つの生理ステージを持っていることを彼は明らかにした。最初の危険ステージは細胞分裂後の幼花粉期で、最も敏感で危険な時期である。第2の危険ステージは分裂開始の付近である。多くの実験から、不受精を惹き起こす臨界温度は、高い低温抵抗性を持った品種で15~17°C、低温抵抗性の弱い品種で17~19°C になることがわかった。しかしながら、障害型冷害に対するイネの抵抗性の程度は、施肥量、天候、栽培管理方式などのその他の要因によっても変化する。小穂上の籾の不受精にもとづく減収への対策を、佐竹は次のように要約している。

- (1) 熟期の違った多くの品種の同時栽培
- (2) 合理的な施肥
- (3) 深水灌漑

これらの冷害対策に加えて、最近の研究はいくつかの化

学剤を施用することで籾の低温危険性を少なくすることのできることを示している。

2-2. 水分供給

作物の出来の成否は栽培期間を通じての水分供給に密接にむすびついている。作物の栽培期間を通して、水分供給がほぼ均等になされることが必要である。大変不幸なことに、降雨の変動率は多くの気候要素のなかで最大である。そして、降雨量および降雨のパターンは年々で非常に変動している。作物が水分の供給のコントロールなしに栽培されている時には、降雨の変動は農業生産に悪い影響を与えることが予想される。南、東南および東アジア帯の水文条件および伝統的な灌漑システムを考えると、これらの地域は一見十分な年間降雨量を持っているにもかかわらず、この地域の農業は降雨によって著しく影響されてきた。それゆえに、作物生産に対する旱魃の影響に大きな注意が払われてきた。

Mowla（バングラディッシュ）は、1950年から1974年にいたる天気資料を用いて、コメ生産の変動と降雨量の変動との間の関係を研究した。コメ収量の分布図と降雨量分布図とを比較して、高収地域は降雨の多い地域とよく一致していることを明らかにした。この事実は、バングラディッシュのコメ生産を左右している最も重要な因子が降雨量であることを物語っている。しかしながら、サイクロンおよび洪水はコメ収量と降雨との関係に乱れをもたらすことがわかった。

インドの Saha・Mooley はアジア東部における夏のモンスーン期の降雨の統計的特徴を研究している。彼らの研究から、降雨の変動には明確な周期は見出し難く、むしろランダム的な特徴のあることがわかった。とはいえ、平均値からの降雨の外れ、とくに減少は作物生産に悪い影響を与えている。インド国内の数州の気象資料を用いて、コメ収量とモンスーン期の降雨量との関係を明らかにしている。これから、モンスーンの到来時期およびその後の降雨量の分布がイネの生育と収量とに大きな影響を与えていることがわかった。

アメリカ合衆国の田中は、最近の気候変化との関連で、モンスーンアジア地域の12カ国のコメ収量の変動を報告している。韓国、バングラディッシュ、ビルマというように耕地基盤整備の進んでいない諸国では、コメ収量の年次変動の標準偏差は他の基盤整備の進んでいる国、たとえば日本や台湾に比較してかなり大きかった。また、ここ15年間のモンスーン期の降雨量の変動性は増加してきており、それによって作物生産に対する旱魃の被

害が増加してきていることがわかった。このような結果から、アジア地域のコメ生産に対して旱魃は最も重大な影響を与えていると彼は結論している。

丸山（気象庁）はタイ国における旱魃と洪水の出現頻度について研究を進めている。この2つはタイ国のコメ生産に最も大きな影響を与えている。1831年以来現在までの129年間に、旱魃の頻度は約2年に1回、洪水は約30年に1回になることがわかった。タイ国内の主要稲作地帯の年間降雨量は、東南アジアでイネ栽培に要求される水量（約1,800mm）より少ない。イネ栽培におけるこのような水供給の不足分は、河の氾濫ならびに伝統的な灌漑システムによって補われている。東南アジア一帯における旱魃と洪水の特徴を明らかにするために、丸山は降雨、蒸発散能、地中貯水量、余剰水分量などの水収成分の年次変動および地理的分布を主として研究した。研究にあたっては、Thorntwaiteの方法が用いられた。

谷（農技研）は6世紀以来のわが国における旱魃発生頻度を歴史的に展望した。歴史的記録から、水を補って旱魃による飢饉を防止するために17～18世紀に全国いたる所で貯水池や池が構築されたことがわかった。その当時作成された灌漑システムの多くは、現在でも降雨を貯わえ、田畑に水を分配するために利用されている。

中川（果樹誌）は瀬戸内海をとり囲んでいる四国・中国・九州の傾斜地および丘陵地に激しい旱魃が主として発生していることを見出した。1935年以来の最も激しい旱魃は上記の地域に1949年と1967年に発生したものである。1967年についてみると、松山市の8月と9月の月間降水量はそれぞれ平年値の5%と8%になった。日本における激しい旱魃の発現は太平洋に夏に発達する小笠原高気圧の著しい発達とむすびついていると中川はいつている。カンキツ類、陸稲ならびに野菜類は傾斜地および丘陵地にある耕地に栽培されていて、水分不足および蒸発水損失の増進によって古くから被害を受けてきた。旱魃によって被害を受けたミカン樹の生理学的徴候は、葉や芽の色の変化、幼果の発育率、落葉度合などを考えに入れて、5段階に分けられた。彼は、耕土層の水収支式から根圏層内の有効水分量を推定するための半経験式をええている。

スリランカのGooneratneは大きく変動している気候条件によってスリランカの食糧生産がいかに影響されているかを豊富な資料を用いて説明した。モンスーンの変動の作物生産に対する悪い影響を明らかにするために、彼はスリランカの農業気候条件を詳細に研究した。スリ

ランカはこの国の南西域1/4を覆っている湿潤地区と残り3/4を覆っている乾燥地区の2つの地域に分けることができる。湿潤地区の年間降雨量は2,500～5,000mmで、1年に2回もイネ栽培をなすことが可能である。一方、乾燥地区の年間雨量は1,000～1,700mmで、月間降水量は極めて明瞭な季節変化をしている。Gooneratneは、乾燥地区での首尾よいイネ栽培は灌漑設備がないと雨季においても不可能であると述べている。スリランカの灌漑システムはほとんど発達していないので、この国のイネ生産は降雨量がわずかに変動しても大きく影響されるのが普通である。スリランカの農業振興計画では1976年までにコメの生産を56%も増加させるとなっているが、1970年以後の打ち続く悪天候によって、この計画の達成は大変危くなってきている。悪天候は作物生産に悪い影響を与えただけでなく、多収性品種群の採用を含めてのより近代的な農業技術の広汎な普及にも大きな影響を与えた。このために、スリランカの国民経済の発展は著しく遅くならざるをえなかった。すなわち、食糧生産の失敗は、まず第1により多くの食糧の輸入を余儀なくし、しかも需給逼迫で高値になった食糧の輸入をせざるをえなかった。このために、外貨事情は急激に悪化し、国民経済向上に必要な物資の調達が大幅に乱れてしまった。同様な現象が発展途上国の多くに起きているとGooneratneは指摘した。

辻（京大）は東南アジア一帯のコメ生産に対する降雨量変動の悪い影響に主たる注目を払っている。というのは、低緯度にまたがるこれらの地域の大部分で、一部の高い山地を除いて、気温はイネの生育に十分なほど高く、それはイネの制限因子とはならないと考えることができる。気候条件ならびに地形的特徴を考慮して、辻はイネの栽培されている東南アジア一帯を次のような6つに分類している。

- (1) 高地斜面：(2) 天水栽培を主とする畑地：
- (3) 若干の灌漑を伴った天水栽培耕地：
- (4) 天水に水分供給をゆだねている灌漑耕地：
- (5) 氾濫デルタ地帯の耕地：(6) 灌漑耕地。

最初の4つのタイプの耕地に栽培されている作物の生長と収量は、降雨量およびその分布に密接に結びついていることが知られている。辻の計算によると、第2と第3のタイプに属する耕地の総面積は東南アジア全域のイネ栽培面積の約50%に達する。それゆえ、降雨は東南アジア地域の豊作をきめる決定的因子である。イネ生産に対する種々な気候因子の影響を分析するために、辻は計量

経済学のなかで広く採用されている生産関数法を用いた。アジア地域のイネ生産諸国のなかの代表国として、タイ国が選ばれた。タイ国全体ならびに種々な県グループの生産関数が、説明変数として水文学的諸要素を用いて推定された。このようにして求められた生産関数はイネ生産に対する将来の降雨量変動の影響を推定するのに利用できるだろうと説明された。

タイ国の Rasmidata はタイ国のトウモロコシ生産と降雨量との関係を研究した。過去5年間の資料を利用しながら、この国でのトウモロコシの低収は主としてモンスーンの失敗に結びついていると彼は結論した。食糧生産システムが多岐化し、集約化するにつれて、農業生産が天候の被害を受ける危険性は次第に高くなってきていると言っている。発展途上国の食糧生産を安定・向上させる方策についての彼の結論は、農業技術を単独ではなくバックとして集合としてそれぞれの国に適用することであるということである。この結論は、食糧増産が火急の問題になっている全ての国にあてはまるものである。

2-3. 台風およびその他の被害

サイクロンおよび台風は南、東南ならびに東アジアの全ての地域を襲い、作物生産に対して激的な被害をもたらすことが知られているのにもかかわらず、本シンポジウムではこの問題に関する報告は少なかった。谷（農技研）は台風にもとづく強風と豪雨が日本の西部と中部地域の作物生産に時々劇甚な被害をもたらしたことを過去の記録を用いながら示した。台風の経路は年によって大幅に変動するので、その防止対策を効果的に発展させることは大変困難であった。九州の南部では、イネ早期栽培システムが台風被害からイネの稔実期を回避するためにうまく採用されている。これによって、稔実期を9月以前に移動させることに成功した。彼は、強い風を防ぐための防風林および防風垣の効果について資料を説明した。

アジアのこの地域の高緯度地帯および高いレベルの地帯においては、時々霜によって作物生産に大きな被害の出ることが知られている。特に、果樹においては時々霜害が発生している。しかしながら、霜およびその作物生産に対する影響に関する報告は本シンポジウムではな

一つ発表されなかった。しかしながら、気候変動の激化は高緯度地帯やレベルの高い地域での秋冷や晩霜の頻度を強め、一般作物にも大きな被害をもたらすことが予想されるので、今後研究が必要である。

4. 問題点

以上14編のレポートの概略を説明したが、それらの発表ならびに討論のなかで出された問題を整理すると次のようになる。

(1) 対象地域の農業気候資源の評価

この地域は過密人口を背景にした稲作地帯で、その作柄を左右する気候条件の肥沃度（農業気候資源量）に関する研究が不可欠である。このためには次のような目標を設定することができる。

- a: 農業気候資源の評価法の確立。これは各地域の気象・気候条件を作物生産の立場から評価し、適否を判定する尺度を個々の作物および地域ごとに明らかにすることである。
- b: 農業気候資源の地域的・季節的分布の解明。これは各作物について好適および不適な地域および季節を明らかにして、適地適作の推進と不適地の改善のために必要である。
- c: 農業気候資源の変動性の解明。これは一般気候の変動に伴う食糧生産ポテンシャルの変動を明らかにするための基礎資料となる。

(2) 作物の生育・収量の予想法の確立

作物の生育と収量は気候条件によって著しく左右されるが、その程度は作物の種類と気候条件の働きかける時期および作物の生育ステージなどによって多様に変化する。この問題は古くて新しい問題であるが、激化する気候変動と人口圧迫のもとにおいては特に大切である。この目標の達成には次のようなアプローチが考えられる。

- a: 作物気象的手法。これは気象条件に対する作物の反応（生態反応と呼ばれる）と気象条件とを同時に綿密に観測して（平行観測）、両者の間の経験的關係を確立して利用しようという方法である。統計資料がよく整えられている時には、局限された地域ではかなり精度の良い予想ができる。
- b: 動態シミュレーション法。作物は光合成-呼吸-分配-生長という過程を毎日反復しながら大きくなっているが、この各過程と気象条件との関係を明らかにし、これを主モデルのなかに組込んで、作物の生長・発育をシミュレートしようという方法で、現在非常に多くの努力が傾けられている。近い将来に、aと結合して大きな展開をもたらすものと思われる。
- c: サテライトによる方法。これは作物の生育状況による耕地の光学的性質の変化をマルチバンドカメラで観測して、作物の生長および収量を推定しようと

いう方法で、グランドトルースがよく整えられていると、現行の方法（作物気象の手法および一筆調査的手法）に匹敵する結果が可能である。これの特徴は広域の状況を常時把握できる点である。水田地帯とくに熱帯アジアのそのグランドトルースの集積を急ぐ必要がある。

(3) 作物生産の動態監視網の確立

過密な人口をかかえた発展途上国では、作物生産の良否は国の政治・経済の根幹をゆるがす程に重要な問題である。それゆえ、進行過程にある作物生産の状況を適確に把握し、必要な措置を適切な時機に採用することが、国の安定的発展にとって不可欠である。しかし、対象地域の多くにおいて行政組織の不備が予想されるので、これに代わる方法の確立が必要である。次の2つが考えられる。

- a: サテライト監視網。東南アジア・東アジア諸国間で、耕地のグランドトルースを整備しながら、サテライトまたは高高度航空機による作物監視業務をテストする必要がある。
- b: 天気図解析法。対象とする多くの地域で、降水は農業生産を左右する最も重要な気象要素である。この量は天気図解析によってかなり定量的に推定でき

るので、天気図解析によって降水不足地帯（したがって作況不良）を明らかにすることができる。

(4) 気候資源の過剰・不足による被害の防止

作物の気象災害は気候資源量が作物にとっての好適範囲から一時的に外れることによってもたらされる。その外れの原因は、気候資源の過剰と不足である。これらから作物生産を守るために次のような方法が採用されている。

- a: 作物品種の開発。多くの努力によって優良品種が育成されているが、これをさらに発展させることが必要である。このためには、各地域に散在する各作物の遺伝資源を収集整理し、効果的に利用しなければならない。
- b: 気象災害防止法の確立。この第1は水利設備を含む農村基盤整備の実施である。このためには莫大な投資を必要とする。

色々討論された問題点を説明してきたが、を通して流れるもう1つの重要な問題は、各国の間での研究活動および情報活動の緊密な交流である。本シンポジウムはその点では1つの役割を果たしたが、多くの国の困難な農業問題を解決するには、組織立った持続的な国際協力を地道に進めることが必要である。

551. 583. 14

2. 南アジア、東南アジア、東アジアにおける気候の変動*

吉野正敏**

1. まえがき

「最近の気候変動と食糧問題に関する国際シンポジウム」の第1日（10月4日）に、東アジア、モンスーンアジア、世界における気候の変動のテーマの下に提出された論文の概要を以下に述べる。そしていくつかの問題点としてまとめておきたい。

2. 報告された主要な気候変動の事実

2-1. 降水量

10月4日に提出された14編の論文のうち、その半分が降水量に関係していた事実からも、この地域においては、降水量が最も重要な気候要素であることがわかる。

山本武夫は日本における夏と冬の降水量の変動を報告

した。特に九州の冬の降水量は、その冬に先行する夏と秋の熱帯アジアとオーストラリアの気圧と密接な関連があることを示した。また、伊豆諸島の7月の降水量はスーダンのそれとよい相関がある。また、アスワンにおけるナイルの最高水位は1785～1835年の間に起こっており、これは日本における小氷期に一致している。この日本の小氷期には、冷湿な夏で、諏訪湖の結氷はそれ以前および以後の時代よりも早かったことが知られている。

H. K. Cho（韓国）は、降水量の永年変化について論じ、特に、1908～1975年の京城の年降水量は、1770～1907年に比較して、19.1%減少し、春と秋の降水量は38.0%、夏は9.5%減少していることを示した。10地点における永年の年降水量の変動からみると、1934年（インチョンと京城を除く）と、1956～1957年に主要なピークがあり、1939～1944年ごろに谷がある。京城におけ

* Climatic change in South, Southeast and East Asia.

** M.M. Yoshino, 筑波大学地球科学系。