

気候変動と湿潤熱帯の農業

気候変動の農業への影響を考える際に、気候因子の平均値の変動だけでなく、そのバラツキの変動も重要である。また、湿潤熱帯農地の水収支はかならずしも本来的に有利なものではなく、畑作と稲作とでは気候変動に対する抵抗力も相違することなどを論ずる。

1979年2月12日から2週間に亘ってスイスのジュネーブで“世界気候会議”(“The World Climate Conference”略してWCCという)が開かれる。この会議には合計約20編の総括論文が提出され、それをめぐって論議が行なわれることになっている。この論文はそのうちの一つである‘Climate Variability and Agriculture——The Humid Tropics’を簡略化したものである。

この会議は世界気象機構(WMO)が中心となって、関連する国連機関、たとえば国連食糧農業機構(FAO)、国連教育科学文化機構(UNESCO)、世界保健機構(WHO)などが協力して開催される。会議の目的とするところは、まず、気候変動に関してすでに知られている事柄を完全に共通の知識とすることであり、ついで、予想される将来の気候変動が人間生活の諸側面に及ぼす影響の把握である。そして、より直接的には、この会議の2カ月後に予定されているWMOの最高会議(WMO Congress)に対して勧告を出すことである。その結果、必要と認められれば将来の気候変動に対処するための各国大臣レベルの会議が開かれる。

気候変動そのものについてはこれまでも主として気象・気候研究者らによって種々の機会に論議されてきている。このWCCではこの種の論議を繰り返そうとするものではなく、それらの成果の上に立って社会経済的に将来の気候変動がどのような意味をもつか、そして予想される好ましからざる影響をどのようにして最小に抑えることができるかが論議されることになっている。したがって、気象・気候専門家以外の幅広い学問領域からの参加が必要となる。

上に述べたようにWCCは通常の学問的国際会議ではなく、解答をせまられ

ている緊急課題に対して関連するすべての学問分野からの専門家の参加によって、政策決定者に直接的に勧告を出すべく組織されたものであるといえよう。このことは十分な事前の根回しが必要であることを意味する。この根回しの一つとして、1978年4月にオーストリアで総括論文発表者を含めた準備会があった。この準備会で論議された事柄のうちでもっとも注目されるべきことの一つは、気候変動の将来予測の大枠が気象・気候専門家側から非専門家側に提示されたことである。つまり、この枠組の中で気候変動の社会経済的諸側面に対する影響を論じて下さいというわけである。

気候変動の将来予測に関する大枠は概略次のようなものであった。すなわち、

- (1) 自然的原因による気候変動の大きさは17～19世紀に広くおこったような寒冷化の可能性も含めて、基本的にこの先100年間は従来と同程度であろう。
- (2) 人為的原因による気候変動は今後全地球規模のものに増大し、この先100年間に自然的原因によるそれと同じか、あるいはそれを越える程度となろう。そして、この人為的気候変動の方向はおそらく温暖化であり、降雨分布の顕著な変化をもたらすであろう。

I 気候変動に関する情報提供と農業

湿潤熱帯の農業にとってもっとも顕著な気候要因はといえば降雨である。この点については論をまたないので、以下、気候変動を降雨変動とおきかえて議論を進めることとする。ところで、気候変動のこれまでの主たる研究は高緯度地方の温度変動をめぐって、あるいは、サハラ砂漠周辺の乾燥地帯の降雨をめぐって行なわれてきた。湿潤熱帯の降雨変動に関しては限られた研究しかない。

機器測定時代以降の降雨の長期変動の研究は、実測データを種々の統計学的方法によって分析し、長期間にわたる増減傾向や周期性を抽出することによって行なわれる場合が多い。つまり、経年変動がならされてその結果はじめて抽出されてくる長期変動を問題として取り上げている。したがって降雨変動は、たとえば“何年と何年の間の20年間はそれに前後する20年間より年間平均200mm

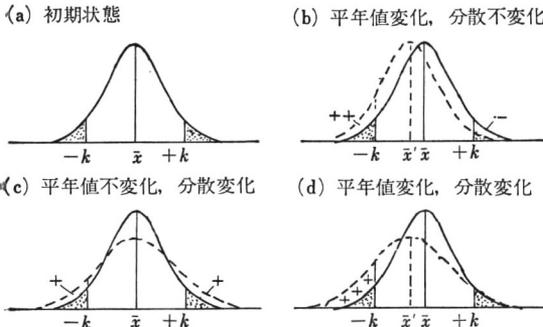


図1 気候変動の3類型と農業が被害を受ける確率

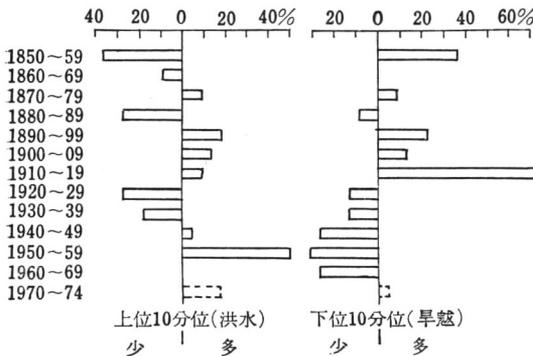


図2 インド(22観測点)の夏季モンスーン(降雨)6月～9月の異常値〔1〕

降雨が多かった” というような形で表現されるのが普通である。

ところで農業生産は気候条件を含む自然的環境条件に支配される度合いが大きい。地域の農業体系はよくその地域の条件に適応している。この場合、地域の気候条件は長年の気候因子の平均値、すなわち、平均値によって代表される。平均値によって代表される気候への適応とは、特定年の値が平均値の前後を含むある範囲内の値であればその農業はほとん

ど影響されないが、その範囲外であれば相当な打撃を受けることを意味する。であるから、気候変動の農業に対する影響を考えるにあたっては、平均値の変動だけでなく、それに当然伴うべき年々の値がある一定の確率でその中に入る範囲の変動、あるいは、平均値の前後の許容範囲内に入る値を示す年の確率の変動もあわせて必要とされることとなる。

上の議論は次のように整理されよう。降雨量は経年変動する。ある期間の降雨量データを集めればその出現頻度分布図が得られる。降雨変動とはこの頻度分布の型が変動することである。降雨量の出現頻度分布は一般に正規分布を示さないが、ここでは便宜のためそれが正規分布する、あるいは、正規化された

と仮定する。すると、降雨変動は平年値 \bar{x} と分散 σ^2 の片方または両方が変動することを意味し、論理上三通りの降雨変動がありうることとなる。この三つの型の変動と、ある農業形態にとっての許容範囲 k を合わせて図 1 に示した。

図 1(a) は初期状態を示し、影の部分が当該農業が大被害を受ける確率を示す。(b) は \bar{x} が \bar{x}' に変化するが、分散 σ^2 は変化しない場合で、農業が被害を受ける確率の増減は正または負の記号のついた面積で示される。(c) は \bar{x} がそのまま σ^2 が大きくなった場合、(d) は \bar{x} 、 σ^2 の両方が変化した場合を示す。

降雨の平年値の変動だけでなく、そのバラツキの変動まで含めた研究は少ないが皆無ではない。一例としてインドのモンスーン期間中の降雨の分析を図 2 に示す。この筆者の Flohn [1] (以降ブラケット内は章末の参考文献の番号を示す) は次のようにいっている。“1890~1919 年の間は乾湿両極端の年が多く、逆に 1920~1942 年は穏やかな年が多かった。1950 年代は洪水が頻発したが、旱魃は少なかった。1850年代はその逆であった”。これを図 1 に示した気候変動の三つの型でいえば、1890~1919年は σ^2 の増大、1920~1942年はその減少、1950年代と1850年代は \bar{x} がどちらかに変化したもの、すなわち (b) にあたる。

この節の結論は以下の通りである。気候変動の農業に対する影響を考えるにあたって、まず、気候変動そのものについての情報が気象専門家から農業専門家に提供されねばならない。その際、平年値の変動だけでなく、分布の変動も合わせて提供されるのが望ましい。でなければ、農学者は平年値と頻度分布との間にある関係を仮定しなくてはならない。また、平年値の変動だけに注目していると平年値の変化なしに分散だけが変化する型の気候変動 (図1(c)の型) を見落してしまうかもしれない。気候変動の農業に対する影響は、分散の変化が小さく平年値だけがわずかに変化する型の変動の場合よりも、むしろ、分散がかなり変動する型のものの方が重要である。

II 気候変動に対する農業の感受性

将来の気候変動に関する情報が適切に提供されれば、その農業に対する影響

の予測は主として農学者の任務となる。そのためのもっとも有効な方法は、過去の気候変動——長期の変動、経年変動を含めて——の影響を調査研究することである。しかし、過去に学ぶにあたって大きな問題がある。それは農業生産形態の地域多様性と時間的変遷である。

地球上の農業形態は実に多種多様である。それぞれが地域の諸条件に適応している。しかし、適応しているからといって、気候要因の平年値からのずれに対する反応、あるいは感受性が同一であるわけではない。作物生育の限界に近い地方では数年に一度の平常作といった所もある。すなわち、図1の中での k の値は農業形態によって大きく異なる。このことは同一の気候変動であっても、その農業に対する影響は農業形態ごとに異なることを意味する。

問題をさらに複雑にするものは農業形態はたえず変化しつつあるということである。農業の技術進歩は k の値の増加だけに働くものではない。伝統的在来農法の方が近代的農法よりも不順な気候に、より抵抗性があるという例は多くある。このような農業形態の地域多様性と時間的変遷を十分に理解せずして気候変動の影響を予測することは大変危険なことである。

農業の気候変動に対する感受性は、作物の生物学的抵抗力によってのみ決定されるものではない。余剰生産力、生産資材の調達、貯蔵施設、運搬加工保存技術などが、ときに農業の気候変動に対する感受性を顕著に左右する場合がある。

熱帯低開発国でしばしば問題となる不作による飢餓の問題も、作物生産自体の問題であると同時に、輸送の問題、流通の問題、そして、富の分配の不公平の問題でもある。したがって、農業形態の多様性と時間的変遷というとき、単に作物の種類やそれらの組み合わせの多様性と変遷だけでなく、農業生産、流通、消費を含めた全農業体系のそれとして理解されねばならない。

気候変動の農業に対する影響如何という課題に対して農学者に課せられた任務の主たるものは、以上述べたような農業形態の気候変動に対する感受性における地理的多様性とその時間的変遷の理解であろう。もし感受性、すなわち、 k の値の将来の変化が気候要素の平年値 \bar{x} や分散 σ^2 のそれに対して圧倒的に

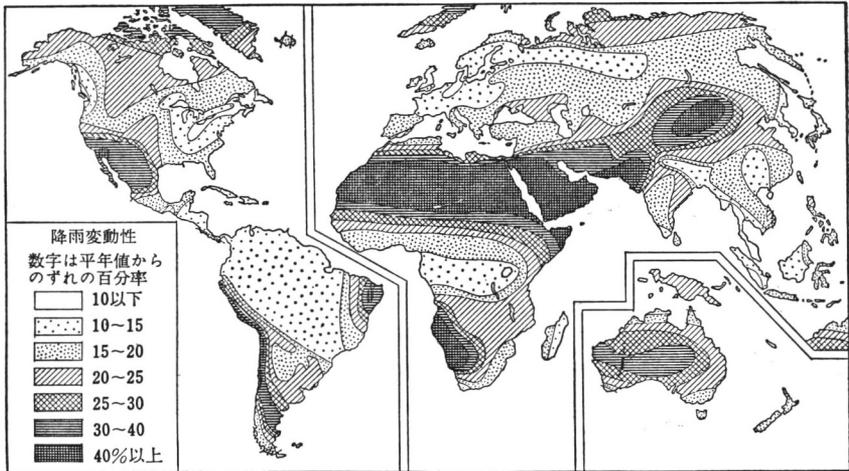


図3 E. Biel による年降雨量の経年変動の世界分布図
文献 [2] より引用(原図は E. Biel による)

大きいと考えられる場合は、その農業の将来にとって問題となるのは気候変動ではなく、むしろ、 k の値の変化である。

Ⅲ 湿潤熱帯における降雨の経年変動

湿潤熱帯はその名の通り多雨である。このような多雨は温帯ではごく限られた地方にしかみられない。にもかかわらず湿潤熱帯の農業生産の経年変動を決定しているもっとも重要な要因は降雨の経年変動である。この点については議論の余地はほとんどない。湿潤熱帯の農業生産の不安定性の原因は、湿潤熱帯における降雨の経年変動の大きさが高緯度地方のそれにくらべて大きいからだとする見解がある。しかし、降雨の経年変動の大きさを地域別に比較することは一見想像されるより困難である。1929年に Biel [2] の作成した世界の降雨変動を示す図は今日でもしばしば引用される。図3にそれを示す。この図では経年変動の尺度として平年値からのずれの大きさの平均値を年降雨量の平年値の

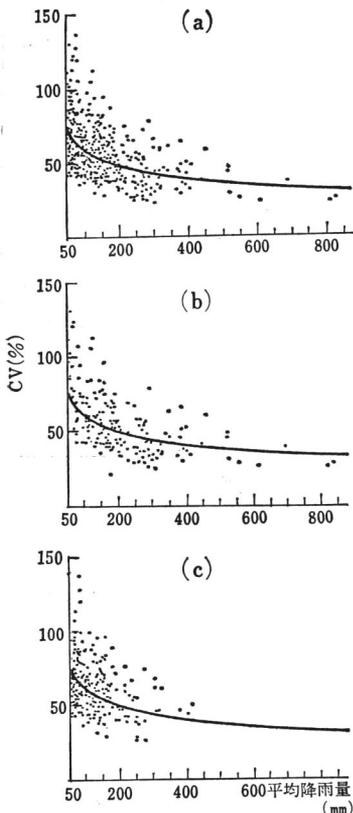


図4 湿潤温帯と湿潤熱帯における月降水量の変動係数(CV)と平均値の関係。(a)湿潤温帯(483観測所-月), (b)湿潤熱帯(196観測所-月), (c)湿潤温帯(287観測所-月)

百分率で表わしたものをを用いている。近年出版された2冊の熱帯気象学に関する本で、このBielの図を次のように読んでいる。

Riehl [4] は“高緯度地方は降雨量が少ないにもかかわらず安定している。平年値からのずれの百分率で計る場合には低緯度地方の降雨はその他の地方に比べてより頼りになるものではない”という。またNieuwolt [5] は、“図では湿潤熱帯は降雨の変動が極めて小さい地域として示されている。しかし、これは多少誤解を招くおそれがある。同じ1%でもそれに相当する降雨量は湿潤地方では乾燥地方よりずっと大きい”といっている。このようにBielが用いた尺度では、湿潤熱帯の降雨の変動が他より特に大きいという結論は出てきそうにないし、また、変動の比較はこの尺度だけでは不完全で、つねに降雨の絶対量とのかねあいで考えられねばならないように思われる。

近頃では変動係数(CV, coefficient of variation: 平均値からのずれの大きさの

平均値に対する百分率)を経年変動の大きさの物差しとするのが一般的である。しかし、CVにも問題はある。一つは、CVが意味をもつのは正規分布に近い分布をする母集団に対してだけであるのに、降雨の分布は必ずしもそうではないことである。もう一つの問題は、先のBielの用いた尺度と同様に、平年値の絶対値の大きさがいつもCVの値のもつ実際的な意味に影響することであ

る。

以上のような問題点はあるにせよ、CV を用いて温帯、熱帯の降雨の経年変動の大きさを比較してみた。世界の主たる農業地域68カ所の 1941~70 年の間の月別降雨量のデータをもとにし、それから月降雨量 50mm 以下、月平均気温 10°C 以下を除いた。図4(a) はこのようにして選んだ483観測所-月の月平均降雨量と経年変動の CV との関係を示したものである。図中の曲線は 483 のデータ全部によるもので、(b)、(c) 図の中でも同じ曲線が示されている。もし、熱帯の降雨の経年変動の大きさが温帯のそれと大きく違うなら、(b)、(c)図中の点はこの曲線の上または下側にかたよるはずである。しかし、図にみられるようにそのような傾向はまったく認められない。このような方法によっても湿潤熱帯の降雨がとくに不安定であるということは否定される。

湿潤熱帯の農業にとって旱魃が大きな問題である。ところで、旱魃害を受けるかどうかは、水の供給と需要の収支の問題である。これまでは供給の面ばかりを論じてきた。作物の要水量は作物種、品種、栽培法などによって異なる。乾燥地方には要水量の小さい作物が栽培される。しかし、もっとも要水量の大きな作物を栽培したと仮定した場合の水の収支は、その土地の水に関する潜在的生産力、あるいは、作物選択の幅を示す指標と考えられる。最大の要水量は潜在蒸発散量 (potential evapotranspiration, PET) によって代替できよう。そして PET は種々の数式によって温度と日射時間から推計される。その正確さについて多くの問題があるにせよ、もっとも広く使われている Thornthwaite の PET 推定の方法によって温帯と熱帯の水収支を比較してみよう。

温帯、熱帯からそれぞれ 10 カ所、合計20カ所の 1941~70 年の月別降雨量と温度のデータにもとづき、各年各月ごとの降雨量 (P) と PET との差を計算した。図 5(a)には降雨量を、図 5(b)には ($P-PET$) のそれぞれ平均値と、下 5 分位値 (データを大きさの順に並べ下から 5 分の 1 に当るデータの値) を示した。

まず降雨量だけを図 5(a) で比較してみよう。湿潤熱帯の有利性は一目瞭然である。ところが、水収支を示す図 5(b) に目を転ずるとどうであろう。降雨

にみられた熱帯の有利性はほとんど消滅してしまう。熱帯の中でも熱帯降雨林気候、あるいは赤道気候と呼ばれる気候の地方では確かに水収支でも有利である。しかし、湿潤熱帯全体からみればそのような降雨地帯は面積はかなりあるといっても、人口密度が低く社会経済的には比重が小さい。それよりも、もっとも人口が多く熱帯農業の大半を占めるのは雨季乾季の区別が明瞭なモンスーン地帯である。以下にもう少し詳しく図5(b)をみてみよう。

温帯では降雨は1年を通じて比較的平均している。冬季は一般に水収支は正である。この時期には低温の

ため作物の生育はないか、あっても遅い。しかし、この季節に土壤中に貯えられた水分がその後の生育に役立つ。夏にむかって水収支は負となるが、盛夏前までは-50mmを下回ることはない。以下のような季節的な水収支の変遷は1年性の畑作穀類の生育にとって理想的であると考えられる。

湿潤熱帯では温帯とちがって降雨の集中が極めて大きい。赤道気候帯以外では乾季は長く厳しい。雨季前には土壤中の水分はない。したがって作物の生育は雨季の期間中に限られる。雨季といっても水収支が正である月は少ない。多

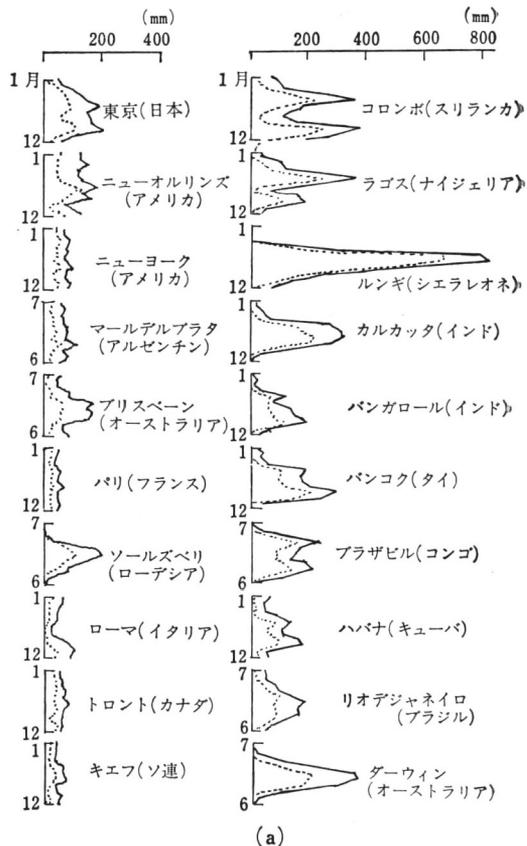


図5(a) 湿潤熱帯、温帯の各10カ所における月降雨量の平均値と下5分位値

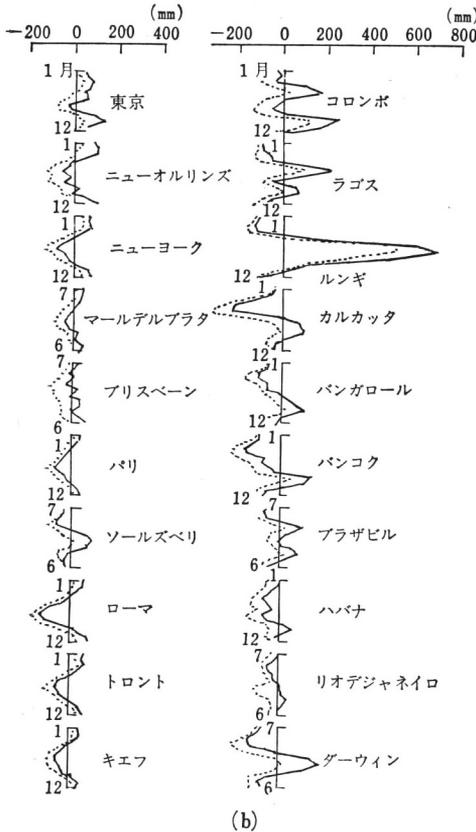


図5(b) 湿潤熱帯、温帯各10カ所における月別水収支 ($P-PET$) の平均値と下5分位値

くの地方で5年に1回は、水収支が正である月はまったくないか、あっても2~3カ月である。熱帯の降雨の特徴である短期間に集中する豪雨、土壌有機物の分解が速いことなどは水の利用効率を低くする。湿潤熱帯は水収支からみると決して恵まれておらず、とくにその中でもっとも社会経済的に重要な地域は水に関しては限界地域と呼んでもよいほどである。

この節のはじめに湿潤熱帯は多雨高温であるにもかかわらずその農業生産は不安定であると書いた。そして、その不安定性の原因はかならずしも降雨自体の経年変動の大きさにあるので

はないと論じた。そして、上の水収支からの検討によれば、湿潤熱帯の主要部分が実は水に関しては限界に近い地域にあたっていることが不安定性の根本原因であることがうかがわれる。

Ⅳ 気候変動に対する農業の感受性：畑作の場合

湿潤熱帯における高温多雨が土壌中の養分の溶脱を速め、また、土壌自体の

表1 湿潤熱帯における短期作物の収穫面積

(単位: 100万ヘクタール)

	イネを除く一 年生穀類、マ メ類など ^{a)}	イネ	栄養生長を 主とする短 期作物 ^{b)}	合計
アフリカ湿潤熱帯	37(67) ^{c)}	4(7) ^{c)}	14(25) ^{c)}	55(100) ^{c)}
中南米湿潤熱帯	10(50)	5(25)	5(25)	20(100)
アジア大洋州湿潤熱帯	75(50)	66(44)	10(7)	151(100)
湿潤熱帯合計	122(54)	74(33)	29(13)	226(100)
非湿潤熱帯合計	670(86)	63(8)	43(6)	775(100)

a) イネ以外の穀類, マメ類, 油脂作物, ワタ.

b) 根菜類, サトウキビ, 繊維作物.

c) 括弧内の数字はこの表に含まれる作物の合計面積を100%としたときの, 各作物類の面積の百分率. 合計面積は全耕地面積のはば80%にあたる.

侵蝕による損失を招きやすいことは周知の通りである. この傾向は短期畑作物を栽培する場合にとくに大きな問題となる. 根菜類など, 開花結実を栽培の直接の目的としない作物の場合にはやや問題は軽減される. そして, 水田における水稻栽培が湿潤熱帯の条件によく適応した農業生産体系であることは歴史がよくこれを示している.

今日の世界の湿潤熱帯で以上3種の農業が占める耕地面積を表1に示す. 湿潤熱帯のほかでは, イネ以外の一年生穀類が全耕地の86%と圧倒的に大きな比重を占め農業の主流をなす. これに反し湿潤熱帯ではそれ以外の作物栽培も大きな比重をもっている. とくにアジアでは稲作が44%を占める. しかし, イネ以外の一年生穀類の畑作が湿潤熱帯でも54%と半分以上を占めているのも事実である. さらに表2にみられるようにこの型の農業の面積が全耕地面積中に占める割合は1954年以降増加しつつある傾向にある. このように湿潤熱帯の条件にはもっとも適応度が低く, したがって気候変動にもっとも感受性が高いと思われる一年生畑作物の栽培は, 近年かえって増加の傾向にあり全耕地の半分以上を占めるにいたっている. このことは湿潤熱帯の農業が全体としてより気候変動に対して弱いものになりつつあることを意味するのであろうか.

湿潤熱帯における一年生畑作物の栽培には大きく分けて次の三つの型がある.

表2. 湿潤熱帯における短期作物面積の変化 (1954~76年)^{a)}

(単位: 100万ヘクタール)

		イネを除く一年 生穀類, マメ類 など ^{b)}	イネ	栄養生長を主とす る短期作物 ^{b)}	合計
アフリカ	1954年	16.9(70) ^{b)}	1.7(7) ^{b)}	5.4(23) ^{b)}	23.9(100) ^{b)}
	1976年	31.2(77)	2.8(7)	6.6(16)	40.5(100)
中南米	1954年	15.5(65)	3.0(13)	5.5(23)	24.0(100)
	1976年	34.8(68)	8.0(16)	8.6(17)	51.4(100)
アジア大洋州	1954年	6.6(23)	20.4(69)	2.4(8)	29.5(100)
	1976年	12.5(28)	27.3(61)	4.8(11)	44.6(100)
湿潤熱帯合計	1954年	39.0(50)	25.1(32)	13.3(17)	77.4(100)
	1976年	78.0(57)	38.1(28)	20.0(15)	136.6(100)

a) 1954年, 1974年の両年で比較できる資料のある国だけについて合計したので, 表1より面積は少ない。

b) 表1の注と同じ。

第一は焼畑による方法であり, 第二は自給自足を主たる目的とする常畑栽培によるものであり, 第三は近年発展のいちじるしい輸出用飼料作物の栽培によるものである。それぞれについて検討を加えてみよう。

焼畑栽培は本来畑作には不適な湿潤熱帯で環境の劣化を最小限に抑制しつつ食糧を得る方法であるといわれる。しかし, このことは人口密度が十分に低い場合という条件下ではじめて正しい。人口圧が増えると休閒期間が短くなり低収となる。低収は栽培面積の拡大, すなわち, 植生破壊面積の拡大を余儀なくさせ, 土地不足を招く。土地不足はさらに一層休閒期間の短縮を必要とさせる。この悪循環にひとたびおちいると環境の劣化が急速に進み, ついにはチガヤ類 (*Imperata spp.*) と疎林だけの不毛の地となる。

焼畑地帯における人口密度の増加は, 生物学的人口増加だけによっておこっているのではない。焼畑農耕民を定住させるための政府の方策による場合がある。あるいは自然発生的な人口集中もある。後者は医療・教育・現金収入の機会を求めての場合もあるし, 治安問題が原因となっている場合もある。いずれにせよ国内人口移動によるある地域の人口密度の増大は, 生物学的人口増によるそれに匹敵するか, あるいは, それを越えるほどの重要性をもつ場合が多い。

その理由如何を問わずある地域への人口集中は, 従来, 政治的, 社会的, 経

濟的に統合されていなかった焼畑耕作民を国家建設に参加させ、同時に、現代社会のさまざまな恩恵にあずからしめるのに不可欠の条件と思われる。湿潤熱帯に多い発展途上国の近代化は、広い地域に分散して住む焼畑耕作民の生活と両立しにくい。このことは焼畑を何らかのより集約的な農耕形態に変化させないかぎり近代化と焼畑による不可逆的環境破壊の防止とが両立しえないことを意味する。

では焼畑の常畑化が問題の解決になろうか。しかし、常畑化が困難であるからこそ焼畑を続けていることから考えて、常畑化は可能かもしれないが相当の困難を覚悟せねばなるまい。土壌劣化を招かず常畑化する技術は存在するであろう。一つの問題は経済的、社会的にその技術が零細焼畑民によって適用可能かどうかであろう。温帯でもかつては焼畑が広く行なわれていた。しかし、人口増に伴う土地不足は農業集約化の方向に働き、そのような技術が開発、普及して常畑化した。同じことが湿潤熱帯でもおこるかもしれない。しかし、それに伴うべき技術はこれまでに述べた種々の理由により、より高度な、かつ、より高価なものであろう。湿潤熱帯では一年生畑作物の常畑栽培を基盤とする永続的な大規模人口集中はいまだかつてみられなかったのは偶然ではないと考えられる。

湿潤熱帯における第二の畑作の型は自給自足のための常畑である。この型は気候の経年変動に対してもっとも影響されやすい。しばしば農村部の飢饉の舞台となるのもこのような型の農耕形態の地域である。自給自足を主たる目的とする常畑栽培は少なくともアジアでは、水田耕作が不可能な土地で行なわれている。人口増などによって肥沃な谷間や平野から駆逐された農村下層民が生命維持のためやむなく行なっているのがこの型の農耕である。コメの値段が下がるか、あるいは自らに経済的余裕ができればいつでも米食にかわる可能性がある。しかし、コメの生産増はおそらく今日の米食人口部分の人口増を大きくは凌駕しえないであろうから、この貧しい不安定な常畑農耕は湿潤熱帯のもっとも弱い部分として今後も残るであろう。

第三の型は輸出用飼料作物の栽培である。従来、湿潤熱帯の伝統的輸出農産

物といえほとんどが永年作物であった。これらの産品に対する需要は飛躍的には増加しないし、また、それぞれの産品について特産地が確立されており、新たにこれらと競争して市場にのりだすのは容易ではない。一方、先進国の所得向上は食品の内容に大きな変化をもたらしつつあり、動物性食品に対する需要の伸びが大きい。先進国の多くは自ら飼料を生産する自力がなくなっている。この機会をいちはやく利用して飼料作物の先進国への大量輸出に成功しているのが、例えば、ブラジルのダイズであり、タイのトウモロコシ栽培である。しかし、長期的にみてこのような型の畑作は好ましいものであろうか。

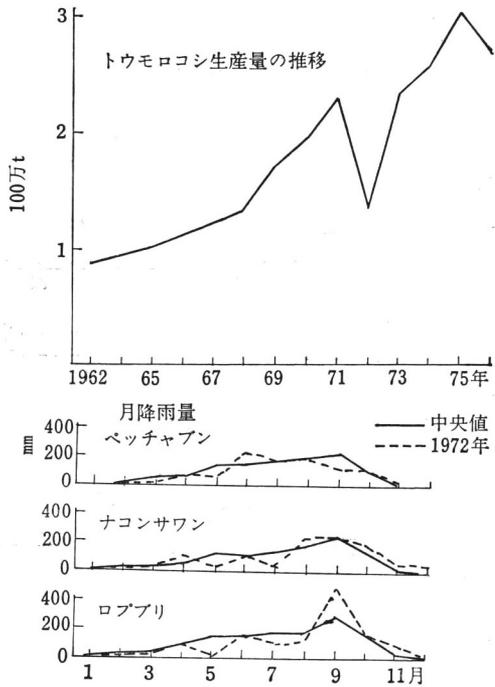


図6 タイのトウモロコシ生産量と1972年の月降雨量

1972年は世界的に天候不順であった。この年、タイのトウモロコシ生産も大打撃を受けた。図6にみられる通りである。タイのトウモロコシは4月から8月にかけて雨季前半の降雨を利用する。この年は図6にみられるように5月にほとんど降雨がなく、6月は平年並みで、7、8月も平年より少なかった。キャッサバはタイのもう一つの新興輸出畑作物である。しかし、キャッサバでは1972年の旱魃被害はほとんどみられなかった(図7)。開花結実を要する一年生作物が短期間の旱魃にいかにか弱いか、それに反し、根菜類など栄養生長だけの作物がいかにか強いかを物語っている。

タイのトウモロコシの場合をはじめとして、湿潤熱帯の畑作地の地理的分布

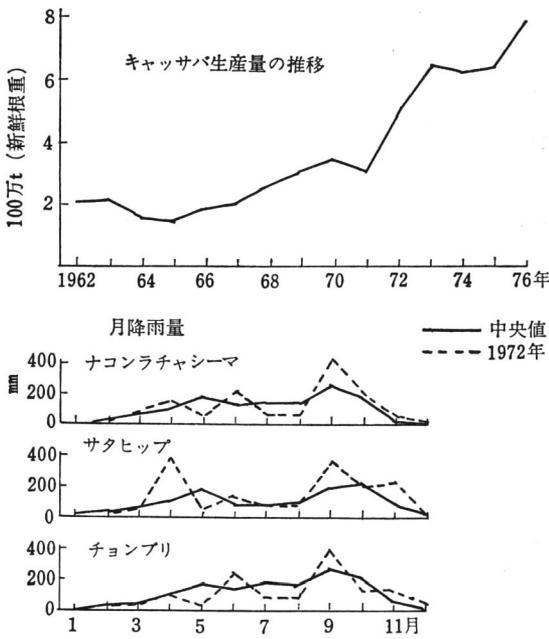


図7 タイのキャッサバ生産量と1972年の月降雨量

は土壌の分布との相関が高い。塩基性の岩石、火山噴出物を母材とする土壌地帯に畑作が集中する。これはこれらを母材とする土壌が風化、溶脱、侵蝕の害を受けにくいためである。図8

はメコン委員会によるメコン河下流域の土地利用将来図である。この図で畑作適地とされているところが、そのような土壌が分布する地域である。自然公園や自然保護区とされている地域は、山岳や湖沼である。水田地域とされているのは、主に沖積平野である。それ

らの中間に土地利用未定の土地が広く残っている。この地域は水田にするには水が不足し、畑地にするには土壌が悪い。しかし、実際には、現在でもこの地域に貧弱な畑地や、ときには水田さえも拡がりつつある。この劣悪土壌に開かれた畑では、最初数年だけはトウモロコシやソルガムが栽培されるが、その後はケナフ、キャッサバしか育たなくなり、ついには不毛の土地だけが残されつつある。

輸出向け飼料作物はシカゴ相場より安い値段でつくりさえすれば売れる。外貨が少しでも欲しい湿潤熱帯の農業国にとっては大きな魅力であろう。しかし、どんな土壌でも可能というわけではない。不適な土地へのこれら作物の進出は農業の気候変動に対する感受性を高めるばかりでなく、広範な土地の不可逆的劣化を招くおそれが大である。

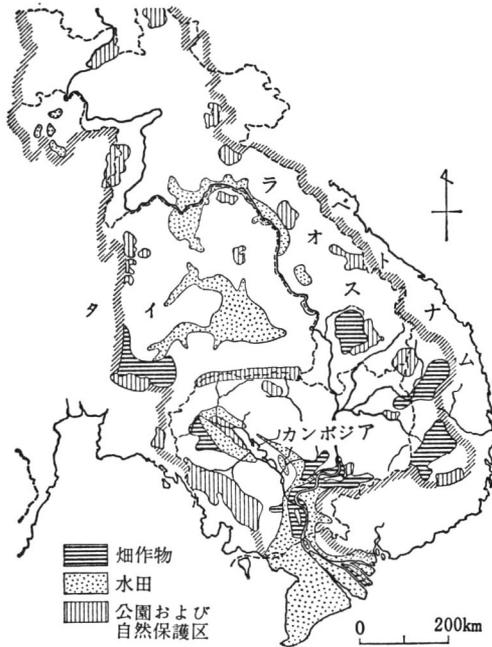


図8 メコン河下流域における暫定的土地利用構想図
メコン委員会資料より簡略化

V 気候変動に対する農業の感受性：水稲の場合

歴史的にみて湿潤熱帯で大きな人口を永続的に支えてきた農業としては水田農業をおいてない。水田農業の熱帯湿潤気候下での最大の利点は次の3点に要約されよう。第一は土地を均平化し畦畔で囲むことによって土壌侵蝕をほとんど無視できる水準にまで減少させることである。第二点は湛水状態をつくりだすことによって養分の溶脱を補完する。すなわち、窒素固定能をもつ微生物の活性を促進したり、還元作用によって養分の有効化を促進し、また、自然的氾濫水、人工的導水中に含まれる養分によって養分損失を補充する。第三には前節でも触れた熱帯降雨の特性、すなわち、短時間の集中的豪雨でも表面流去

表3 主要作物収量の経年変動の国際比較〔6〕

国名	変動係数 ^{a)} (CV%)	全生産量 ^{b)} (100万 t)
ソ連		
コムギ	12.4	85.8
イネ	3.6	1.6
アメリカ		
コムギ	7.3	42.0
イネ	3.7	3.9
フィリピン		
イネ	6.9	4.9
トウモロコシ	6.4	2.0
インドネシア		
イネ	4.5	18.1
トウモロコシ	4.1	2.7
タイ		
イネ	5.1	11.8
トウモロコシ	18.1	1.7
インド		
イネ	7.1	60.5
コムギ	5.4	26.5
オオムギ	8.8	2.5
トウモロコシ	9.0	5.3
雑穀類	7.7	8.3

a) 1960年代の前後約10年間の収量にもとづく。

b) 1970年代初め頃の年生産量。

差によるものであって、一部の地域の高収や試験場などでの成績によれば、水田農業の潜在的高収性は動かし難い。

水田農業の生産安定性も上述の理由で畑作に優ると期待されるが、実情はかならずしもそうではない。表3にみられるように、水稲栽培がほぼ完全な水制御のもとに行なわれている米国やソ連ではその安定性は明らかである。しかし、多くの湿潤熱帯の諸国ではそうではない。灌漑排水がほぼ完全に整った日本では、水稲収量の地域差や経年変動は温度と日射量とでほぼ説明がついてしまう。“早魃に不作なし”といわれているように、灌漑排水が完備すれば水田農業は降雨の変動から解放される。

このように水稲生産の安定性は一に水制御の良し悪しにかかっている。これは水稲にかぎらずどの作物でも同じはずである。しかし、水田農業における灌

水を抑えて有効に降水を利用できることである。

このような理由で、湿潤温帯の畑作農業にはみられない安定高収が水田農業に期待できる。稲作の収量についてみれば、化学肥料出現前のヨーロッパの農業と比べてもひけをとらない。畑作では休閒や輪作が土壌肥沃度維持に不可欠であったことを考え、作付面積当り収量ではなく、休閒地を含めた全経営面積当り収量で比較すれば水田農業の高収性はさらに明らかである。今日の湿潤熱帯の水稲の収量は温帯の畑作に劣るが、この差はもっぱら生産資材や技術水準の

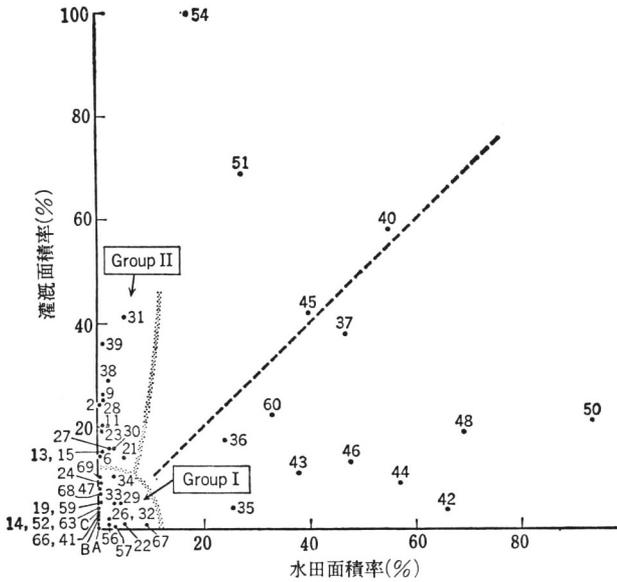


図9 世界76カ国における灌漑面積率と水田面積率（全耕地面積に対する）
 (資料：FAO Production Yearbook 1971)

2ブルガリア, 6フランス, 9ギリシア, 11イタリア, 13ポルトガル, 14ルーマニア, 15スペイン, 19ソ連, 21キューバ, 22グアテマラ, 23メキシコ, 24アメリカ, 26ポリビア, 27ブラジル, 28チリ, 29コロンビア, 30エクアドル, 31ペルー, 32ウルグアイ, 33ベネズエラ, 34アフガニスタン, 35ビルマ, 36インド, 37インドネシア, 38イラン, 39イラク, 40日本, 41ヨルダン, 42クメール, 43北朝鮮, 44ネパール, 45パキスタン, 46フィリピン, 47シリア, 48タイ, 50南ベトナム, 51中国, 52アルジェリア, 54エジプト, 56ガーナ, 57コートジボアール, 59リビア, 60マダガスカル, 63モロッコ, 66ローデシア, 67シエラレオネ, 68南アフリカ, 69スーダン, (A) オーストリア, デンマーク, フィンランド, ポーランド, スウェーデン, カナダ, ブルンディ, エチオピア, ケニア, マラウイ, マリ, ニジェール, ナイジェリア, トーゴ, タンザニア, ウガンダ, オートボルタ, ザンビア, (B) ハンガリー, ユーゴスラビア, イギリス, チュニジア, (C) チェコスロバキア, 東ドイツ, 西ドイツ, アルゼンチン, トルコ, オーストラリア.

灌漑はその他の農業形態におけるそれとは基本的性格を異にする。この点についてもう少し整理してみよう。

アジア稲作圏における灌漑の特殊性は図9に端的にみられる。この図で第Iグループに入る国は水田面積、灌漑面積ともに低く、天水依存の畑作を主とす

る。これらが世界農業の主流を占める。第Ⅱのグループは乾燥地の灌漑農業がその国土の耕地のかかなりの部分を占める国々からなる。水田面積が10%を越える国々は図中の右方の空間に広く散らばっている。このうち、中国、インド、エジプト、パキスタンでは、その国土のかかなりの部分、あるいは、ほとんどの部分で乾燥地灌漑農業が主流となっている。したがって、これらの国々では灌漑面積の大部分が水田であるとはかぎらない。この4カ国を除く稲作国では、灌漑面積は灌漑水田面積とほぼ等しいと考えてよい。さて、これらの水田農業国のうち図中の対角線に近い位置を占める国々は水田面積のほぼ全部が灌漑されていることになる。日本、インドネシア、マダガスカルがそうである。その反対の極にあるのがカンボジア、ビルマ、ネパールなどである。このような水田灌漑率の相違は降雨量とまったく無関係である。グループⅠとⅡとを分けるものが明らかに降雨量であったのに比べると水田灌漑の異質性がうかがわれるであろう。

水田灌漑の特徴は次のように世界の農業形態を水利用の形態によって三分するとよくわかる。第一は圃場に落下した降雨（直接降雨と呼ぶ）だけを給水源とする天水依存畑作である。これが図9の第Ⅰグループで広く行なわれる。この農業では水の作物根への供給を支配する主要因は、降雨以外には水分保持に関与する土壌の物理性である。水収支は降雨、蒸発散、地下浸透と幾分かの表面流去水とによってほぼ決定される。第Ⅱの形態は乾燥地灌漑農業である。第Ⅰの型とは反対に直接降雨はあまり意味をもたない。水は遠方から人工的に運ばれる。水供給を支配する主要因子はもっぱら灌漑工学的要因である。水田農業は両者の中間に相当する第Ⅲの型というべきであろう。すなわち、幾分かは直接降雨に、幾分かは他所からの流入水にたよる。他所からの流入水は、ある場合にはほぼ完全に人為的に制御されるが、ある場合にはまったくの自然流入である。実際にはこの両極端の中間に人為的水制御のさまざまな段階がある。このような流入水の水平移動距離はあるときには屋敷地と田圃との間の数メートルにすぎず、またあるときには後背山地と海岸平野との間の数百キロメートルにもおよぶ。したがって、水田における水収支は直接降雨、蒸発散、地下浸

透、表面流去に加えて表面流入を考慮せねばならない。この表面流入を乾燥地灌漑農業の場合と同じような人工的灌漑だけであるとするのは実情に合わない。先の図9に示したような水田灌漑面積率と降雨の間の相関関係の欠如は、一部には灌漑の定義が水稻栽培圏でまちまちであることにもよる。

水田を造成する場合には、そもそも最初から幾分かの入水が期待できる場所が選ばれる。以後は、この入水が時代とともによりよく制御されてゆく。水稻栽培のその他の技術もほとんどすべてがこの入水制御に歩調をあわせて改善されてゆく。水田の水文条件は灌漑の有無によって表現しつくされるものではない。乾燥地農業における灌漑は土地利用を一変させるが、水田農業では灌漑の有無によるそのような大きな差はない。別のいい方をすれば、水田灌漑は常に補助灌漑であって、その中味が段階を追って改良されてゆく。以上、多くの例外や、過度の概念化や省略はあろうが、地球全体の農業を眺めまわしたとき、水田農業における灌漑はこのように理解されるものではなからうか。

このように水田灌漑を理解したとすると、水田はある意味ですべて灌漑されている、あるいは、やがてはそうなると考えてもよいのだろうか。表4にアジア各国の現今水田面積、現今水田灌漑面積、灌漑可能面積、そして、1990年までにコメ生産を倍増するに必要とされる灌漑面積をあげる。カンボジア、ラオスを除いては全水田の灌漑は決して夢ではない。この2カ国については潜在灌漑面積が過小評価されている。もしこれが達成されれば、水田農業は日本でそうであるように降雨変動からほとんど解放されることになる。

問題は、しかし、いわゆる灌漑面積の拡大の速度と開墾による水田面積の拡大の速度の両者のかねあいである。メコン河下流域の土地利用図(図8)の説明の際にも述べた通り、水田はより劣悪な条件の土地へと拡大しつつある。東北タイの少なからざる水田では、数年に一度の恵まれた降雨のときだけイネが作付される。

畑作、稲作を問わず人口増加による耕地の拡大がより劣悪な条件の土地へと急速に伸びている。Grigg〔9〕は地球全体の耕地面積の拡大を分析し、次のように述べている。“1870~1930年の間は耕地拡大のほとんどは中緯度の草原の

表4 アジア稲作圏における水田の灌漑面積の現況と将来予測
(単位1,000ヘクタール)

国名	1974年 水田 面積 ^{a)}	1974年灌漑 水田面積 ^{a)}	潜在灌漑 可能面積 ^{b)}	1990年にコメ生産を現 在の2倍にするに必要 な灌漑面積 ^{c)}	
				灌漑完備 水田面積	天水田 面積
バングラデシュ	9,904	495	6,800	6,461	3,370
ビルマ	4,974	797	2,753	3,109	1,690
カンボジア	555	17	470	1,504	780
インド	37,500	16,100	80,940	20,890	12,720
インドネシア	8,537	4,950	5,265	4,433	2,900
ラオス	686	69	66	583	310
西マレーシア	597	287	732	(382) ^{c)}	(203) ^{c)}
フィリピン	3,539	1,590	3,189	1,953	1,200
スリランカ	680	449	1,000	341	231
タイ	7,734	2,860	4,000	4,418	2,625
上記10カ国合計	74,706	27,614	105,215	44,074	26,029
インドを除いた 9カ国合計	37,206	11,514	24,275	23,184	13,309

a) 文献[7]による。

b) 文献[8]による推定。

c) 西、東マレーシアの合計。

開墾によってもたらされた。しかし、1930年代になるとこの動きは止まった。その理由は、一つには移民達が新天地の開拓よりも都市生活により大きな魅力を感じたからであり、もう一つには西欧諸国で農業革命がおこったからである。一方、中国、インド、アフリカ、中米では1940年代になって顕著な耕地拡大がはじまった。これはひたすら耕作者自身の食糧を得るがためである。いつまでこの傾向が続くかはわからないが、依然として続く人口増と土地なし農民層の拡大は耕地拡大を当分は必要としよう。しかし、〈緑の革命〉という集約化の最初の徴候が現われたし、都市への人口流入もみられる。おそらく今世紀末までに、そして、最後の潜在可耕地が開墾しつくされる以前に、この耕地拡大の傾向は停止するであろう”。

耕地拡大が続くかぎり気候変動に対する感受性が大きくなろう。この傾向に歯止めをかけるのは集約化への方向転換だけである、これは温帯畑作で実際におこった。湿润熱帯では社会経済的条件をぬきにして純粋に技術的にだけ考

えても、畑作の集約化は温帯でよりもずっと困難である。しかし、もう一つの主要な農業形態である水田農業についてみれば将来はより明るい。なぜなら水田の水制御は水田農業の不可分な一部分であって、遅かれ早かれ水制御の改良に進むことが予想されるからである。ただし水田面積の拡大も同時に進行するであろうから全体としては楽観を許さない。

世界気候会議提出論文を書くにあたって多くの人々から貴重な助言と協力を頂いた。農林水産省農業技術研究所の内嶋善兵衛氏、同省東北農業試験場の坪井八十二氏、京都大学理学部の山元龍三郎教授、同広田勇助教授、同農学部の久馬一剛教授、東京大学農学部の村田吉男教授、筑波大学地球科学系の吉野正敏教授らには草稿に目を通して頂いた。FAO の M. Frere 氏からは種々の材料の提供を受けた。東南アジア研究センターにおいては所長市村真一教授（論文執筆当時、なお本論文は『科学』49巻3号、1979に掲載された）をはじめ、多くの方々に当初から相談にのって頂いた。とくに、海田能宏、安成哲三、安田聖の各氏は細部にわたって助言と協力を惜しまれなかった。タイのコメ生産変動に関する部分は、京都大学農学部の小林慎太郎、内田晴夫氏との協同研究の結果である。

参 考 文 献

1. H. Flohn: 'Time Variations of Climatic Variability' in 'Climatic Change and Food Production' (ed. by K. Takahashi & M. M. Yoshino), p. 311, University of Tokyo Press, Tokyo (1978).
2. E. Biel: Geogr. Jahresbericht aus Oesterreich, 14/15. 151 (1929).
3. G. T. Trewartha: An Introduction to Climate, 3rd ed., McGraw-Hill, New York (1954).
4. H. Riehl: Tropical Meteorology. McGraw-Hill, New York (1950).
5. S. Nieuwolt: Tropical Climatology, John Wiley, London (1977).
6. 農林省: 世界の気候変動と農作物生産 (1974).
7. 大来佐武郎・高瀬国雄: アジアにおける米倍増計画, 海外経済協力基金 (1976).
8. H. J. Moen & K. J. Beek: Literature Study on the Potential Irrigated Acreage in the World. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands (mimeo.) (1974).
9. D. B. Grigg: Geography, 59. Part 2, 104 (1974).

(福井 捷朗)