

32. グローバルな水文現象の変化が世界の食糧自給率に及ぼす影響について

THE INFLUENCE OF GLOBAL HYDROLOGICAL CHANGE ON THE WORLD SELF-SUFFICIENT RATIO OF FOOD

菅 和利*・今村直広*・清水穂岳

Kazutoshi KAN*・Naohiro IMAMURA*・Hotaka SHIMIZU

ABSTRACT ; The global hydrological balance is influence to the change of the rainfall pattern, to the amount of evapotranspiration and to the rainfall variation. These global changes depend on the green house effect. The change of the temperature and the rainfall are influence to the drought and the heavy rain occurrence frequency.

These global changes are influence to the change in social structure, to the life style and to the balance of food production and consumption. When the food production and the consumption can't balance in an own country, we have to depend on import. But when a change in a global hydrological balance has an influence on food production at the whole earth scale, the food crisis will become serious.

We discussed the relationship between the global hydrological balance and the food self-sufficient ratio by using the virtual water concept and the world precipitation data base.

KEYWORDS ; global hydrological change, green house effect, self-sufficient ratio of food, drought and heavy rain, virtual water

1 はじめに

地球の温暖化によって降雨パターン、蒸発散量、降雨量変動などグローバルな水文現象が変化しているとの指摘が有る。しかし、温暖化によると見られる水文現象への影響は、国、地域によって程度が大きく異なっている。この降雨、気温などの変化は、各国、地域の少雨、多雨傾向と共に異常渇水、異常豪雨などの出現頻度の変化として顕著に現れていると思われる。

気象のグローバルな変化が水文現象の変化を引き起こし、食糧生産の変化として生活への影響を及ぼしている。各国、地域は人口の増加、生活形態の変化、社会構造の変化により、食糧生産、消費量、消費品目などが変化してきた。自国で生産と消費のバランスが取れない場合には、輸入に頼らざるを得ない。しかし、グローバルな水文現象の変化が地球全体での食糧生産に影響を及ぼした場合には、地球規模での食糧安全保障への危機が生じることになる。経済発展に伴う流通機構の変化は、世界に依存する食糧生産の時代へと変化させ、グローバルな水文現象との関連を把握することが必要になってきている。

本研究では 1960 年から 2004 年までの各国の人口、食糧生産量、消費量、輸出量、輸入量のデータを基に、それぞれの国、地域での食糧自給率、依存率を検討した。また、グローバルな水文現象として世界各地の代表的な河川での 1900 年から 1998 年までの期間の降雨量、損失量、平均降雨量からの変動量

* 芝浦工業大学工学部（水圏環境研究室） Faculty of engineering, Shibaura Institute of Technology
3-7-5, Toyosu, Koto-ku, Tokyo, 135-8548, Japan

を取り上げ、地域ごとの特性と食糧の他地域への依存率との関連について検討した。食糧依存率の計算では、穀物、肉など食糧品目ごとでの過不足を計算するのではなく、生産に要する水量（仮想水）に変換して足し合わせることで、同じ物指しでの食糧依存率を算定した。

2 食糧の世界への依存

わが国で消費する食糧の大部分が海外からの輸入に頼っており、わが国農業生産への依存度が相対的に低下している。1965年の73%、1995年の45%、2002年には40%まで低下し、主要先進国の中では最低の水準である。また、地球規模でも輸入、輸出に伴う食糧の移動によって世界各国での食糧自給率を賄っているのが現状である。ライフスタイルの変化に伴う食糧消費パターンの変化にグローバルな気候変動の影響が相まって食糧自給は不安定な状況になりつつある。自国での生産と消費のアンバランスを食物輸入先に依存していても、その国が、渇水、洪水、気温変化などで短期的に生産が低下した場合には共倒れが懸念される。したがってグローバルな視点での食糧生産、消費、輸入、輸出量のバランスをとる必要がある。

人間が生活していくうえでの食糧は種類によって必要量が異なり、また、ライフスタイルの変化が食生活にも影響を及ぼすので、食物ごとに必要量の充足率が異なる。この複雑さを排除するため、必要食物総量で充足率（自給率）を考えることとする。各食物を合計する際に、各食物に対して重み付けをすることで、総量の中にそれぞれの食物の特性を反映させることとした。この重み付けとしてわが国で生産する場合に必要な単位水量（仮想水）を指標にすることとした。この仮想水を共通な物指しとして考えることにより、生産量の経年変化、他国への依存率の経年変化の国際比較が可能である。わが国で生産するのに必要な単位水量 $\text{m}^3/\text{トン}$ については色々な研究があるが、本研究では米2000、小麦1000、コーン1000、大豆1000、牛肉7000の数値を用いた。

各国での米、小麦、コーン、大豆、牛肉それぞれの生産量、消費量、輸入量、輸出量に原単位をかけた数値を各国の人口で割り、一人当たり、年当りの消費、輸入仮想水を算出した。また、この米、小麦、大豆、コーン、牛肉の消費仮想水の合計を一人当たり総消費水量 $\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$ とし、米、小麦、大豆、コーン、牛肉の輸入量から算定した輸入仮想水の合計を一人当たり総輸入水量 $\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$ とした。総輸入水量 $\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$ と総消費水量 $\text{m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$ との比を食糧の海外への依存度として定義した。

図1はわが国の水田面積、単収、生産量の経年変化を示した図である。1960年の値を1として整理した。肥料、農業の近代化に伴って単位面積あたりの収穫量は増加しているが、耕地面積の急激な減少によって生産量は減少している。1993年の生産量の一時的な減少は冷害の影響を表している。

図2、3はわが国での一人当たり換算した食糧消費、生産を示した図である。米の消費が減少し、変わってコーンの消費量が増加し、サラダオイルなど副食を多く消費する食生活に変化したことを示している。途上国においても生活が豊かになるにつれて、米を主食としたラ

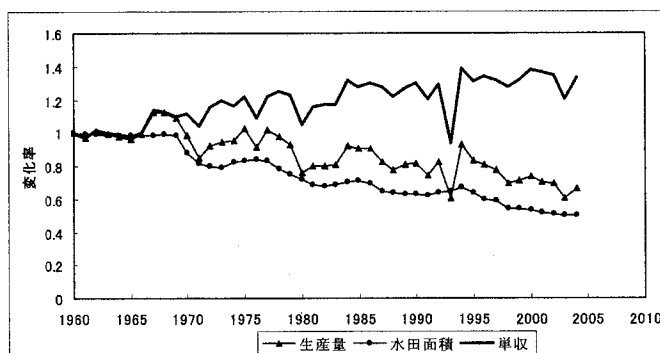


図1 わが国の水田面積、米の生産量の変化

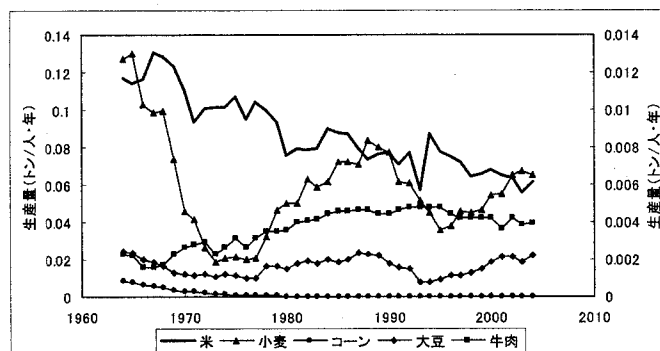


図2 わが国の食糧生産量

イフスタイルから副食を多く食するライフスタイルへ、あるいは穀物で牛肉を生産する消費スタイルへと変化することを示している。

図4は消費と生産のアンバランスを補うために輸入した食物を仮想水に換算した図である。コーンの生産量の少ないわが国ではライフスタイルの変化を海外からの輸入で実現していること示している。

図5は仮想水量の総使用量、仮想輸入、その比の依存率（右軸）を示したものである。わが国の食糧が世界に6割以上依存していることを示しており、世界の水文現象に強く依存していることを示している。経年的な依存率の増加は、食のライフスタイルの変化、経済形態の変化、農業など産業形態の変化を反映しているが、年変化には気象の影響が反映されていると考えられる。1993年に依存率が約0.1増加しており、図4から分かるように米の輸入に起因している。気温低下で米の生産量が減少し、緊急的に米の輸入を行ったことが図5の依存率増加として表現されている。このように経年変化の平均的なトレンドからのずれとして気象の影響が現れている。

図6はアジア地域での仮想水の全消費、輸入水量、依存率を示した図である。アジア地域は自給自足の国が多く、依存率は約0.08と比較的低いが、1995年以降は僅かではあるが増加傾向を示している。また、アジア地域は台風による豪雨と渇水が繰り返される地域で、依存率は変動しながら増加傾向を示している。

図7はわが国の年降水量の変化を示した図である。1960年以降は年降水量の変動が大きく、多雨、渇水年を繰り返し、渇水の発生頻度が大きくなってきたことを示している。わが国の年降水量はアジア地域を代表する値ではないが、図6で依存率が大きくなった1975、1983、1987、1994年は渇水年に当たっており、多雨よりも渇水のほうが食物生産には影響が大きいことを示している。

図8は世界での依存率を示した図である。世界では依存率は約1.2であり、1985年以降は僅かずつ増加しているが、平均化されるために変動は小さい。水文現象変化と食料依存率との関連を連検討するためには地域単が妥当と思われる。図9は中近東での依存率の経年変化である。降雨水量が平均的に少なく、少雨年には主食の食物である小麦の生産への影響力が大きくなり、依存率が変動する。1989、1996、

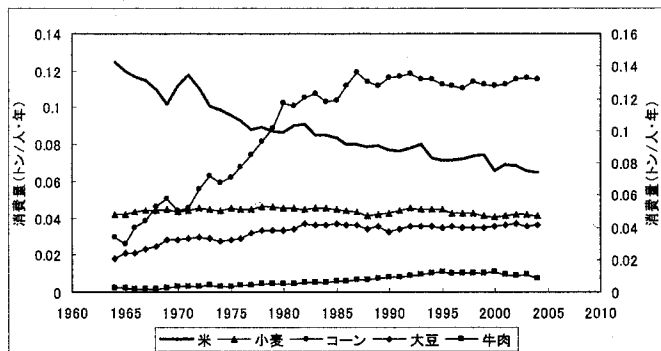


図3 わが国の食糧消費量

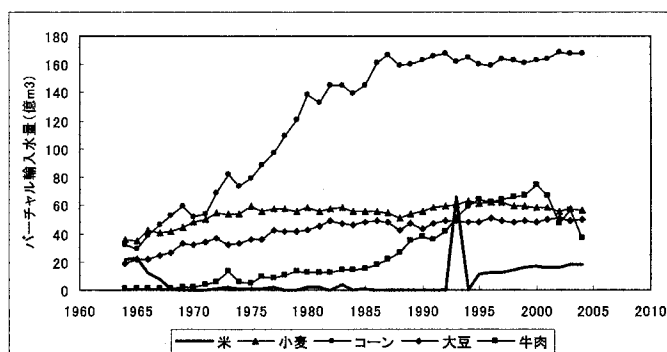


図4 輸入食物を仮想水に換算した水量の経年変

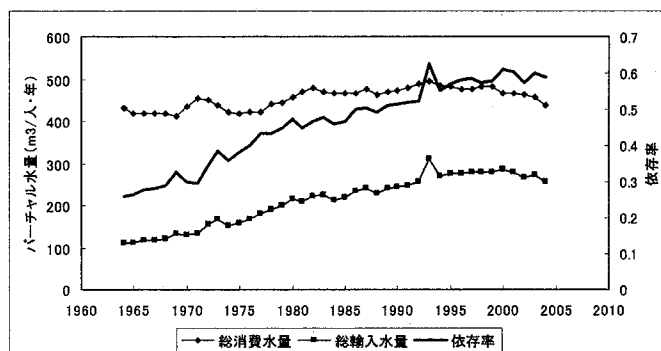


図5 仮想水の総消費、総輸入量、依存率の経年変化

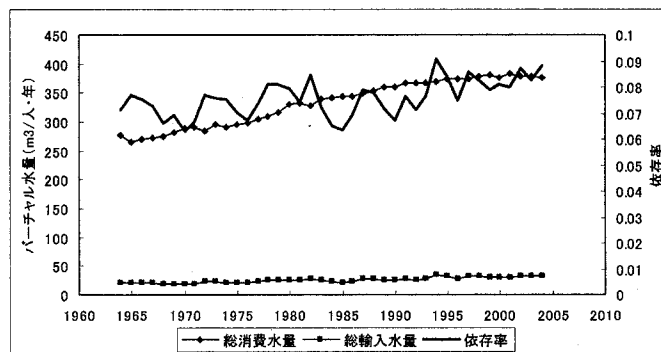


図6 アジア地域の依存率の経年変化

1999、2001 年の依存率が大きくなった年は、小麦の生産量が低下した年である。中近東は依存率が高く、自国の気候変化の影響が大きく現れる地域である。

3 降水量の経年変化

降水量データは、CRU (Climatic Research Unit) version TS 1.0 (New et al. (1999))による世界 1520 地点の月降水量データを、1900～98 年の年降水量データに変換して利用した。これらの降水量データを世界の主要 46 河川の流域毎に当てはめ、流域毎での降水の経年変化について検討を行った。

世界 46 流域の一世紀間の降水量の変化率を図 10 に示す。図中白丸は大きさに応じて平均より 10%、20%、30%少ないことを示し、他方黒丸は大きさに応じ、10%、20%、30%多いことを示している。ハドレー循環下降域に当たる緯度 20～30 度前後の乾燥域に属する流域では、降水量の顕著な減少傾向が見てとれる。具体的には、アフリカ北部（ナイル、セネガル、ニジュール川）、地中海沿岸（ドナウ、ポー、ローヌ、ロアール川）、中東（チグリス、ユーフラテス川）、南アジア（ガンジス、ブラマプトラ、チャオプラヤ、メコン川）がこの地域に相当する。他域では降水量の増加傾向が見られ、特に南米域、シベリア域では 30%前後の増加を示している。

3. 1 降水量の変動幅特性

降水量がこの 100 年間で増加した地域、減少した地域があるが、経年変化だけでなく年変動の幅が大きくなってきている。降雨データからトレンドを除去し、トレンドからの変動の二乗平均平方根 (Root Mean Square)を用い、10 年毎の一世紀間の変動幅特性を検討した。

図 11 はいくつかの流域での変動特性を示した図である。図中棒グラフ（左軸）は年降水量のトレンドからの差を、折れ線（右軸）は変動幅を用いた 10 年毎の RMS を示したものである。降水量変動幅はどの地域においても一世紀間に増加減少を繰り返しており、

経年的に見て変動幅が近年大きくなったことを示すことはできなかった。しかし図 11 の RMS によると、ヨーロッパを除く北半球において増加傾向を示し、南半球において減少傾向を示している。ヨーロッパを除く北半球で多雨、少雨の差が大きく、南半球で差が小さくなってきている事を示している。また、

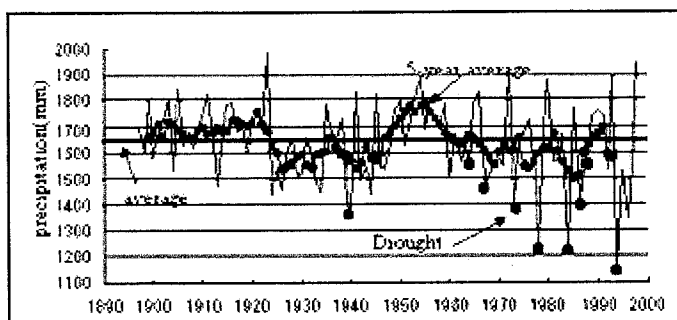


図 7 わが国の年降水量の経年変化

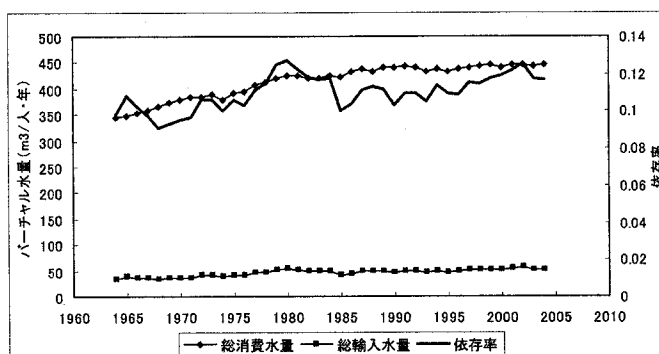


図 8 世界での依存率の経年変化

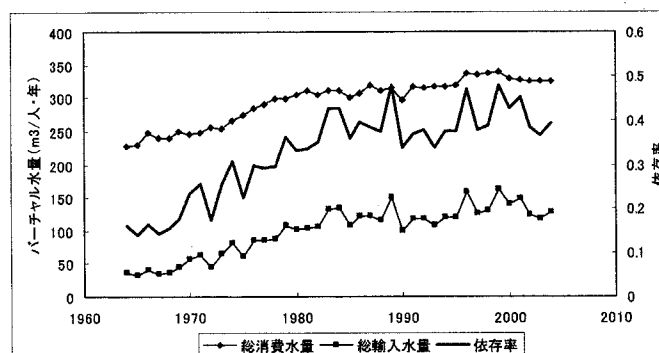


図 9 中近東での依存率の経年変化

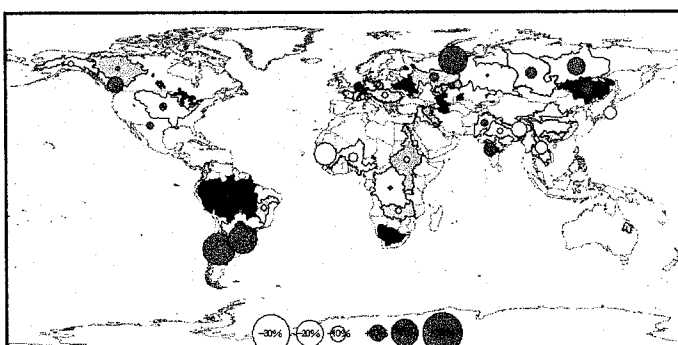


図 10 降水量の変化率

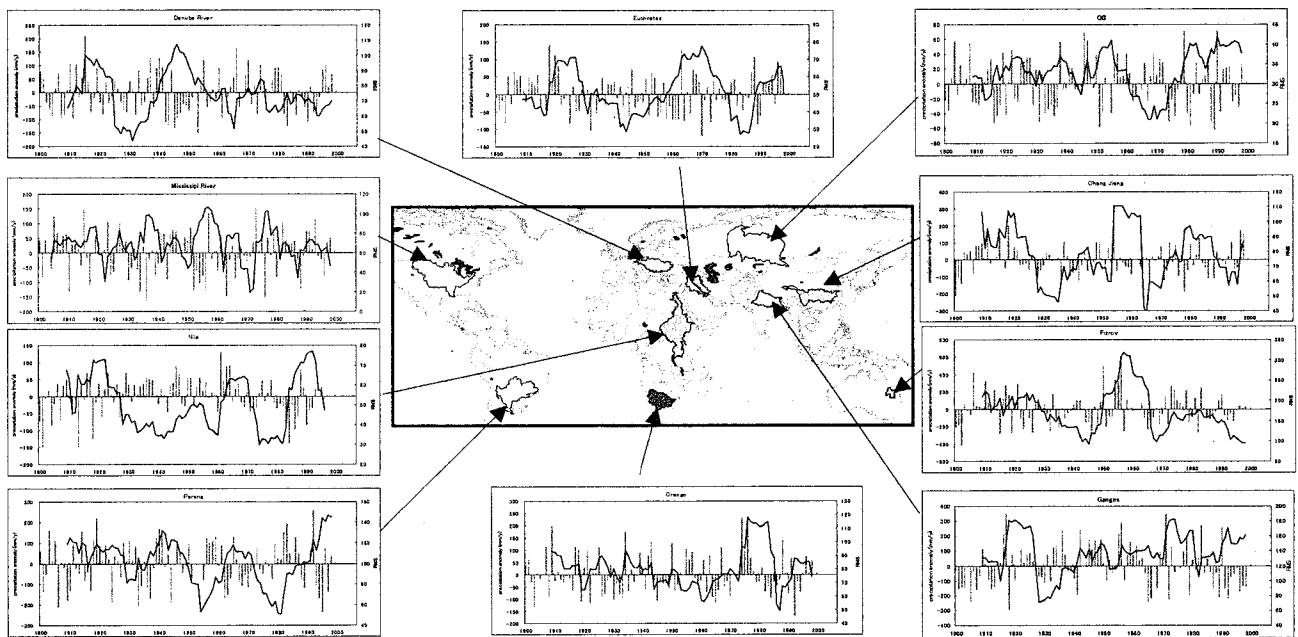


図 11 年降水量の 100 年間トレンドからの偏差と変動幅

近年に着目すると 1970 年以降、南米南部域、中東域、シベリア域、東アジア域、インド域において降水量の変動幅が増加しており、近年この地域で多雨少雨の出現頻度が高くなってきたことを示している。

3. 2 異常少雨、異常多雨の出現傾向

年降水量の 10 年毎の RMS を用いた変動特性では、少雨、多雨の出現頻度を十分に反映できなかったため、1/10、1/20 確率の少雨、多雨の出現頻度について検討を行った。計算では年降水量の出現確率が対数正規分布をするとして超過確率、非超過確率を算定した。

図 12 中の実線が 10 年確率、点線が 20 年確率の多雨、少雨の確率雨量を示している。南米域では 20 年確率少雨を下回る渇水の頻度が高く、東アジア域、中東域、インド域でも同様な傾向を示している。特に東アジア域では少雨の出現頻度が高く、近年は顕著になってきていることが見られる。

図 12 では示していないが、アフリカ域においては近年、多雨の年には多量の降水量、少雨の年には著しく少ない降水量が出現しており、変動の大きさと頻度の高さを示している。また、ヨーロッパ域で

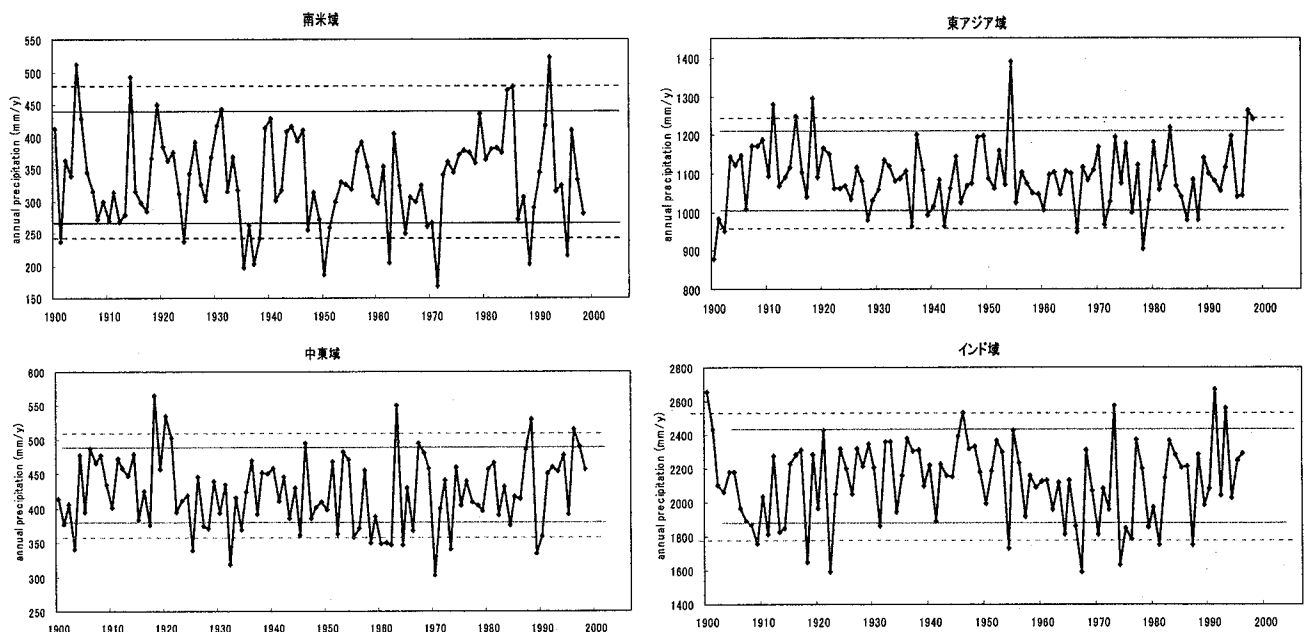


図 12 1/10、1/20 確率の少雨、多雨の出現確率

は変動幅と同様、出現頻度での大きな特徴は見られなかった。

このように地域によって年降水量の変動幅、多雨、少雨の出現頻度の特色が異なるが、食糧自給が世界に依存する現状ではグローバルな視点での把握が必要である。

3. 3 降水量現象の変化と食糧自給率

降水量現象では地域を毎の特色有しているが、グローバルな食糧生産では地球的な依存を有している。降雨現象と仮想水を指標とした食糧依存率との相関を検討した。

図 13 はスーダンでの降水量と依存率の相関を示したものであるが、少雨の年に依存率が急上昇することを示している。主食を小麦に頼る国では渇水が小麦の生産にダメージを与えることを示している。なお、変動について考察する為、降水量、食糧依存率共にトレンドを除去した値を用いた。

図 14 はアメリカでの降雨変化と食糧自給率の相関を示した図である。図 14 は仮想水を指標にした依存率のトレンドからの偏差を自給率に変換して示したものである。矢印は少雨で自給率が低下した場合と、多雨で自給率が低下した場合を示している。自給率の低下には多雨、少雨共に影響を及ぼすが、少雨のほうが影響が大きい事を示している。しかし、少雨、多雨が大渇水、大洪水に直接結びつかない場合もあり、相関は必ずしも明確ではなかった。

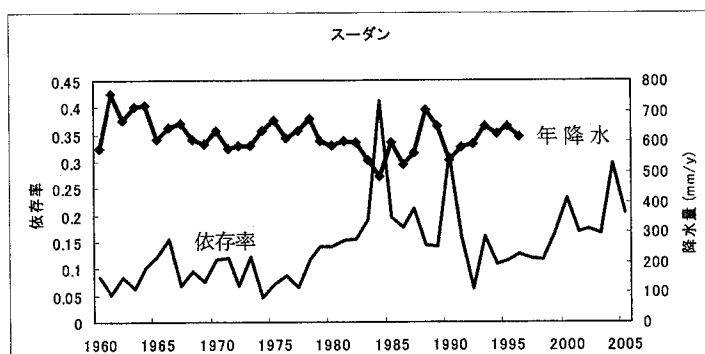


図 13 スーダンの年降水量と依存率との相関

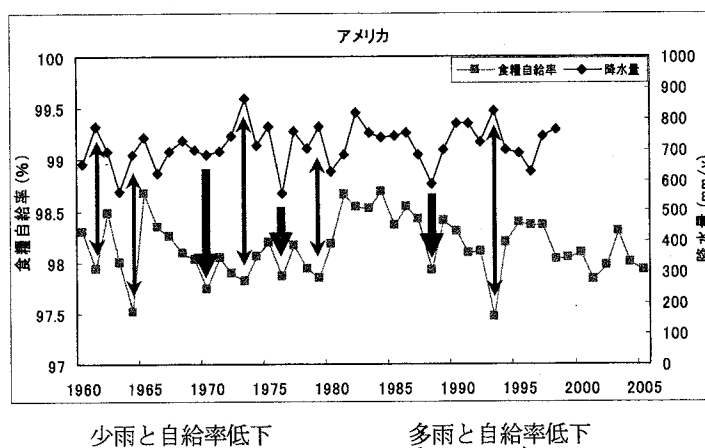


図 14 食糧自給率と多雨、少雨の相関（アメリカ）

4 まとめ

仮想水を指標にすることにより各国、地域での食糧生産、消費、輸入、海外への依存率について検討を行なった。全世界的には 10%程度が海外に依存しており、グローバルな視点での食糧自給の必要性を示した。経済発展とライフスタイルの変化に応じ、小麦、コーン、大豆などの流通が活性化し、これらの生産への少雨の影響が大きくなりつつあることを示した。乾燥地域では益々食糧自給率が低下し、不安定さを増している。

食糧依存率、降雨量のトレンドからの偏差についての相関は、必ずしも明確ではなかったが、洪水より渇水が食糧生産には強く影響していることを示すことが出来た。また、降水量現象には地域性があり、グローバルには異常少雨、異常多雨の程度はそれほど変化していないが、発生頻度の増加傾向を示す地域も有る。食糧自給率はグローバルな少雨、多雨に影響を受けており、近年の世界に依存する食糧事情では、特定の地域での気候変動が世界中の食糧事情に影響を与える事が予想される。

参考文献

- 1) USDA: PS&D View January 2007; USBC: International Data Base, August 2006
- 2) Global Runoff Data Centre (GRDC)、Climatic research Unit(CRU) 提供のデータ