

全球灌漑要求水量と降水量の相関分析

THE CORRELATION ANALYSIS OF THE GLOBAL IRRIGATION WATER DEMAND WITH PRECIPITATION

萬 和明¹・田中 賢治²・池淵 周一³

Kazuaki YOROZU, Kenji TANAKA and Shuichi IKEBUCHI

¹学生会員 京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 博(工) 京都大学助手 防災研究所水資源研究センター (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

³フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所水資源研究センター (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

The 2nd Global Soil Wetness Project (GSWP2) is an ongoing environmental modeling research activity initiated by the Global Energy and Water cycle EXperiment (GEWEX). The SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy) land surface scheme is one of the participants of the GSWP2. In order to estimate the global soil moisture field as accurately as possible, and to utilize the products of GSWP2 simulation more efficiently for water resources application, SiBUC is run with irrigation scheme activated. In this way, global 10-year simulation considering irrigation was implemented, and global distribution of irrigation water demand was estimated. There is obviously negative correlation between annual precipitation and irrigation water demand. However, there are some grids those have positive correlation between precipitation and irrigation. The difference of the relationship can be explained by NDVI. It is implied that the irrigation facilities in such area are not adequate.

Key Words : *SiBUC, GSWP2, precipitation, NDVI, irrigation water demand, correlation coefficient*

1. 序論

21世紀は「水の世紀」と言われ、地球規模での水問題が注目されており、局地的な洪水や渇水への対策、農業用水や生活用水の安定供給といった水資源管理が問題となっている。こうした水災害、水資源問題の解決には、気象予測は有効な手段であり、その精度向上が求められている。近年、土壌水分が大気・地表面間のエネルギー・水収支を通して、気候形成やその変動に寄与することが明らかとなってきた。そこで、効果的な気象予測精度の向上のため、観測値を元にした気象強制力を陸面過程モデルに与え、土壌水分量分布を算出するという全球土壌水分プロジェクト (Global Soil Wetness Project: GSWP)¹⁾が実施されている。

陸面過程モデルは様々なものが開発されてきた(例えば, BUCKET²⁾, SiB³⁾, BATS⁴⁾など)が、灌漑の水量操作をモデル化しているモデルは少ない。FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 統計によれば、全世界の耕作地は 1500 万 km² にも達し、その約 18%にあたる 276 万 km² で灌漑が実施されており⁵⁾、全球規模で考えても耕作地に対する灌漑の実施面積は小さいとは言いきれず、領域水・熱収支へ与える灌漑操作の効果は無視できない。本研究では灌漑の効果を検討できる陸面過程モデル SiBUC (Simple Biosphere

including Urban Canopy)⁷⁾を用いて GSWP2 に参加し、土壌水分量を含む陸面水文諸量を全球規模で算定しており、灌漑を考慮したモデル計算に必要なパラメータを作成され⁸⁾、陸面過程モデル SiBUC による、灌漑を考慮した全球モデル計算の実施が可能である。

灌漑操作に関する論文は数多くある。Doll ら⁹⁾¹⁰⁾は灌漑実施面積率を全球規模で算出しており、全球規模での灌漑用水量を算定している。また、花崎ら¹¹⁾は河川流路網モデルを用いて灌漑取水の影響を考慮した河川流量シミュレーションを行っている。また、灌漑の有無によって地表面水収支が受ける効果は無視することはできないことが指摘されている¹²⁾。そこで本論文では、算出された灌漑要求水量を示しその影響を述べ、灌漑要求水量が降水量との間に示す関係を明らかにするとともに、その灌漑能力についても言及する。

2. 陸面過程モデル SiBUC

SiBUC は SiB をベースとして開発されてきたモデルで、複数の植生を扱えるばかりでなく、都市域や河川・湖沼等の水体を地表面構成要素として扱うことができる。全球規模で考えれば、陸域の地表面に占める都市や水体の割合はそれぞれ約 1.8%(250 万 km²)⁶⁾、2.7%(361 万 km²)であり、植生割合(約 37%, 5000 万 km²)⁵⁾と

表-1 作物の生育期間を 5 段階に分けたときの各生育段階の期間 (単位は全生育期間に対する百分率) とその最低水量 (米は水深で与えられており単位は mm, 他は根層の土壤水分量). 干干湿湿とは 3 日毎に排水・水量追加を繰り返すこと.

作物	段階	1	2	3	4	5
春小麦	期間	23	14	14	14	35
	水量	70	60	80	80	55
冬小麦	期間	26	20	22	13	19
	水量	70	70	80	80	55
トウモロコシ	期間	8	48	6	14	24
	水量	75	65	70	75	65
米	期間	25	13	33	13	16
	水深 (mm)	20	不要	20	10	干干 湿湿
夏大豆	期間	4	25	16	28	27
	水量	75	65	65	70	65

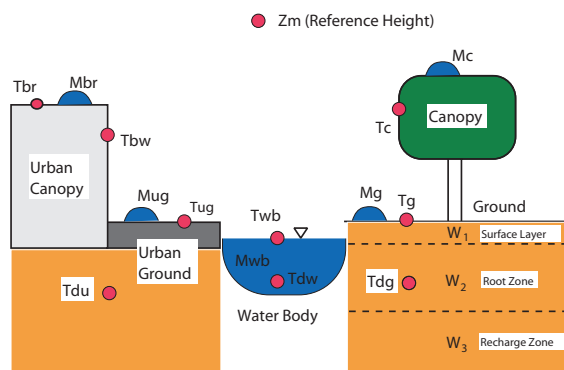


図-1 SiBUC の概念図

比べると小さく、従来の陸面過程モデルでは省略されてきたが、これらの水・熱収支特性は植生地のそれとは全く異なるため、その影響が小さいとは言い切れない。そこで、陸面過程モデルの精度を向上させることを目的に、従来まで考えられてきた植生モデルに都市・水田の効果を加えたモザイクモデルとして開発されたのが SiBUC (図-1) である。

SiBUC では、水田を含む灌漑農地において、ある一定水量 (あるいは水位) を下回ればそのグリッドに適宜水量を追加するという過程を組み込むことにより、灌漑操作をモデル化している。このとき追加される水量が、灌漑要求水量であり、作物の蒸散によって減少した根層の土壤水分量を、作物が生育するのに適した範囲に保つための水分量である。このとき、実際に水供給が可能であったかは考慮しない。ここで、灌漑操作の基準となる水量は作物ごとに異なっており、また、その生育段階に応じて異なる値を示す。そこで、SiBUC による灌漑を考慮したモデル計算を行うためには、以下のパラメータを設定する必要がある。

10 Experiment - SM2
10 year monthly Average - Ave

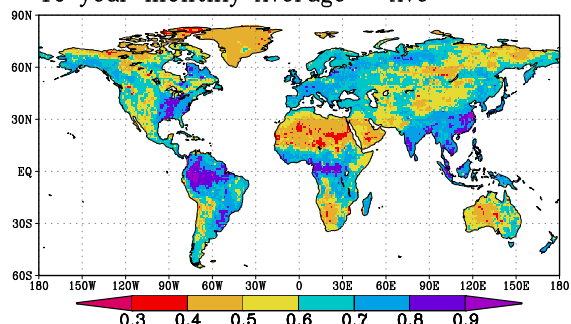


図-2 根層の土壤水分量の全球分布図。ここでは I0 実験による 1986-1995 年の 10 年平均値を示す。

10 Experiment - WaterDemand
10 year monthly Integration - Sum

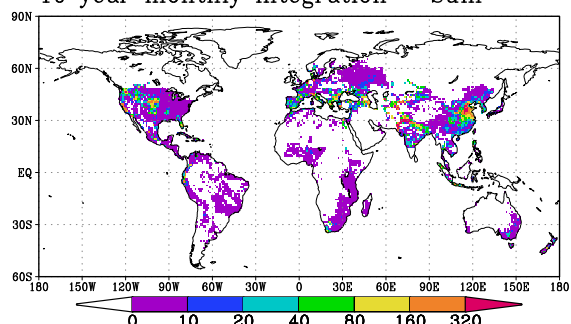


図-3 年積算灌漑要求水量 [mm] の全球分布図。ここでは I0 実験による 1986-1995 年の平均値を示す。

- (a) 作物種分布図のメッシュデータ
 - (b) 各作物の生育期間 (農事暦) のメッシュデータ
 - (c) 各作物とその生育段階に固有の維持すべき水量
- (a), (b) に関しては、筆者ら⁸⁾によって提案された、正規化 NDVI (N-NDVI) という独自の指標を活用する手法により、その全球分布が得られている。(c) は、中国におけるデータ¹³⁾(表-1) を用いる。

3. 全球灌漑要求水量分布の算出

(1) 計算条件

本研究で実施した数値計算は、時間間隔 1 時間、全球陸域 1 度グリッド、1986-1995 年の 10 年間が対象である。モデルに与えるデータは ISLSCP-II¹⁴⁾ のデータセットが GSWP2 から提供されるが、3 時間の気象強制力を 1 時間間隔に、月単位の植生パラメータを 1 日間隔のデータに線形内挿して用い、土壌データは解析対象期間中固定値を用いた。本計算とは別に地表面水分ゼロ・土壌水分 75% の初期条件で 1982 年 7 月から 1985 年末までモデル計算を実施し、1986 年 1 月における初期値の作成を行った。すなわち、3 年半のスピナップ期間を設定しており、モデルの積分期間は合わせて 1982 年 7 月から 1995 年 12 月までの 13 年 6 ヶ月である。本研究では、灌漑を考慮した I0 実験と、灌漑を考慮しない

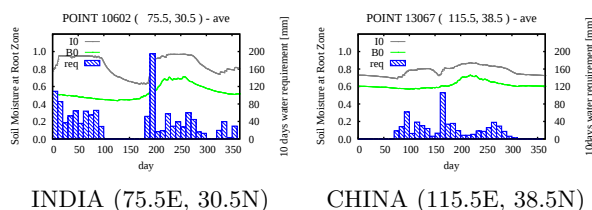


図-4 左軸は根層の土壌水分量の日変動を、B0 実験は緑線で I0 実験は黒線で表し、右軸は 10 日積算灌漑要求水量 [mm] を青棒で、それぞれ 1986-1995 年の平均値を表している。

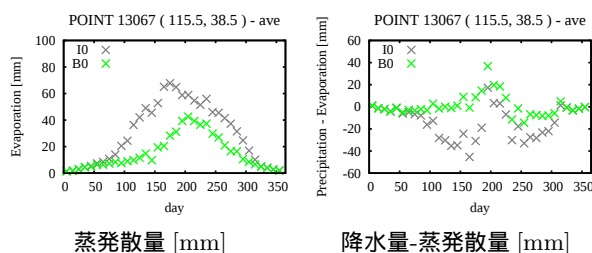


図-5 10 日積算蒸散量 [mm] と (降水量-蒸散量)[mm] の 10 日積算値を、B0 実験は緑点で I0 実験は黒点でそれぞれ 1986-1995 年の平均値を表している。

B0 実験のふたつの数値実験を行った。

(2) 計算結果と考察

I0 実験によって算出された 1986-1995 年の 10 年平均土壌水分量分布を図-2 に示す。同図からは、湿潤な熱帯雨林域や乾燥している砂漠地帯を再現できていることが見てとれる。またアメリカ大陸では東西で土壌水分量分布に明確な差異が認められることがわかる。

また、算出された年積算灌漑要求水量の 10 年平均全球分布図を図-3 に示す。アメリカ西部域や中国華北平原、インド、パキスタンといった中央アジア域において多量の灌漑要求水量が算出されている。また、ヨーロッパにおける地中海沿岸でも灌漑要求が認められる。

次に、I0 実験と B0 実験による土壌水分量の年変動と、I0 実験による 10 日積算灌漑要求水量とを図-4 に示す。本論文では紙面の都合上、算出された年積算灌漑要求水量が二期作で最も多かったグリッド（インド、(75.5E, 30.5N)、コメ⁸⁾）と、一期作で最も多かったグリッド（中国、(115.5E, 38.5N)、冬小麦⁸⁾）における結果を 10 年平均したものとする。インドのグリッドでは灌漑の実施によって土壌水分量がほぼ 1 に保たれている。灌漑要求水量が 1 日頃から 100 日頃までと 200 日頃から 300 日頃までの 2 期間にわたって特に顕著に算出されており、生育期間の年による違いを考慮すれば、インドにおける 2 期作を表現できていると考えられる。このとき、灌漑を必要としない時期（100 日頃から 200 日頃）では I0 実験の方が B0 実験よりも土壌水分量の減少量が大きくなっている。また、中国のグリッドでは灌漑要求水量の絶対値に依らず、年間を通じて土壌水分量は 0.1 程 I0 実験の方が B0 実験よりも高い値を

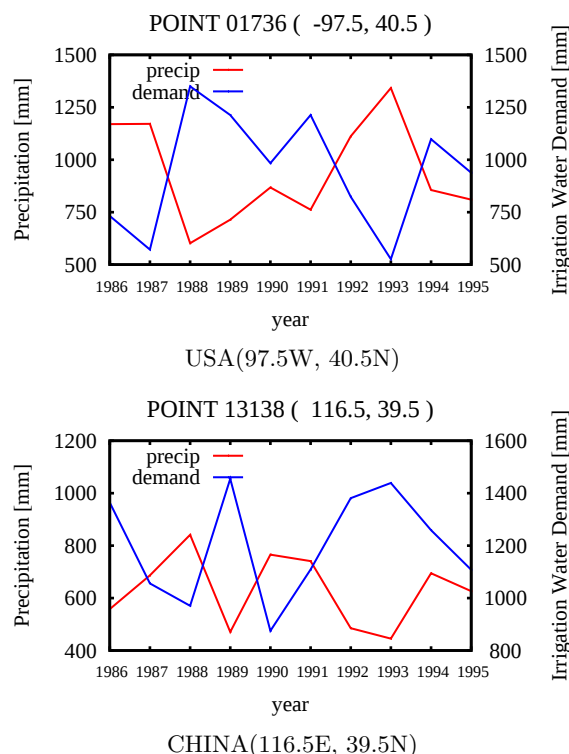


図-6 左軸に年積算降水量 [mm] を赤線で、右軸に年積算灌漑要求水量 [mm] を青線で、それぞれ表す。ここでは I0 実験におけるこれら 2 変数の年変動を示す。

示している。このように、灌漑の実施が土壌水分量に与える影響はグリッド毎に異なっていることがわかる。

図-5 は、中国のグリッドにおける蒸散散量と (降水量-蒸散散量) の 10 日積算値を示す。同図から、灌漑の実施によって蒸散散量が増加することが見てとれる。そのため、蒸散散量が降水量よりも大きくなり、負の値を示す可能性が高くなることがわかる。本論文においては中国におけるグリッドしか示さないが、他のグリッドについても同様の傾向が見られている。こうしたグリッドは、水資源管理の観点からは非常に重要となる。

このように、陸面水文諸量は灌漑要求水量を考慮することにより明らかに影響を受ける。次節以降で算出された灌漑要求水量と降水量との関係を明らかにする。

4. 灌漑要求水量と降水量との関係

植物と大気の間では、植物の表面からの蒸発や葉の表面の気孔からの蒸散によって、水蒸気交換が行われている¹⁵⁾。特に蒸散による水消費をまかなうために、植物は根から土中の水分を吸い上げており、植物の活性度合いによって根層における土壌水分量は減少していく。

灌漑地においては、作物が十分に生育できるように、根層の土壌水分量が減少すれば適宜水分補給を行っている。例えば中国においては作物の生育期間に応じて生育に適した土壌水分量が作物毎に求められている（表-1）。

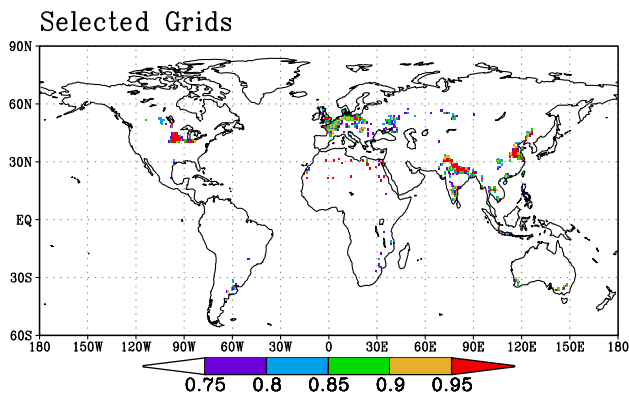


図-7 耕作地が自然植生に対して占める割合．本論文では75%以上のグリッドが解析対象である．

表-2 50 行政単位における年積算降水量と灌漑要求水量の順位相関係数 (cc1)

相関関係	negative	neutral	positive
行政単位数	25	22	3

(1) 予測される関係

本研究に使用した陸面過程モデル SiBUC では、作物の蒸散によって減少した根層の土壌水分量を、作物が生育するのに適した範囲に回復させるための水分量を灌漑要求水量として算出している．したがって、降水量が減少すれば灌漑要求水量は増加し、降水量が増加すれば灌漑要求水量は減少するよう、モデル内で計算が実施されているはずである．よって、本研究において算出された灌漑要求水量と降水量との間には負の相関関係が存在することが予想される．図-6 に年積算降水量と年積算灌漑水量との間に強い負の相関を示した2グリッドでの年々変動を示す．本論文ではこれ以降、特に断りがない限り、「降水量」と「灌漑要求水量」とは年積算量を意味するものとする．

(2) 耕作地が優位なグリッドにおける解析

本論文ではさらに降水量と灌漑要求水量との関係を検討する．そこで、解析対象を次のように設定した．まず、数値計算に用いた土地利用面積率から、都市・裸地・雪氷面・水面を除いた全植生のうち、水田を含む耕作地が全植生に対して優位であるグリッドを選定した．本論文では耕作地が全植生に対して75%以上であれば優位性があると判断した．これは、年積算 NDVI と降水量・灌漑要求水量との関係を検討する際（後述）に、年積算 NDVI の年々変動が自然植生ではなく耕作地における植生量の変動を示していることを保証するためである．次に、選定されたグリッドにおいて、解析対象期間である1986-1995年における灌漑要求水量の最大値が1mm以上で最長生育期間が30日以上グリッドを抽出した（図-7）．さらに、統計的優位性を確保するため、抽出されたグリッドを行政単位（国あるいは県・州）でまとめたところ、50の行政単位が解析対象

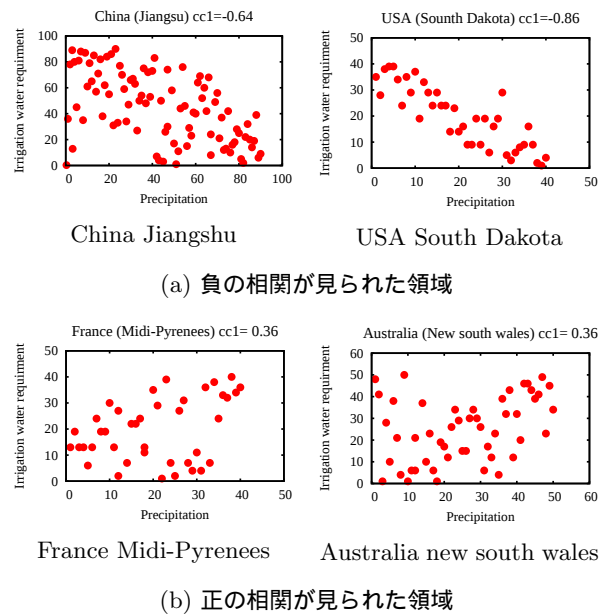


図-8 年積算降水量と年積算灌漑要求水量との年々変動関係図．横軸が降水量の順位、縦軸が灌漑要求水量順位．

として得られた．本論文では、各行政単位には3-12のグリッドが存在している．

各行政単位において、降水量と灌漑要求水量との相関係数（本論文では cc1 と呼ぶことにする）を算出した．この相関係数は Spearman の順位相関係数¹⁶⁾であり、2変数の年々変動の相関係数を表しており、その関係性でまとめると表-2 のようになる．同表から、降水量と灌漑要求水量が負の相関関係を示す傾向にあると考えられる．図-8(a) に、強い負の相関が見られた領域の降水量と灌漑水量との関係を示す．降水量と灌漑要求水量は負の相関を示す傾向にあることは、モデルの構成上予測された結果であり、組み込まれた灌漑モデルがその機能を十分に果たしていることを意味しており、モデルが理にかなった挙動を示しているとみなせる．しかしながら、負の相関を示さない領域が存在することは筆者らの予想を超えた結果（図-8(b)）である．特に正の相関を示した領域について、降水量と灌漑要求水量の関係をより詳細に議論する必要がある．

(3) 灌漑要求水量の新たな解釈

本研究では、灌漑施設の規模やその運用方法といった灌漑能力を考慮せずに数値実験を実施し、灌漑要求水量を算出している．そのため、現実に水供給がなされたかは考慮せず、最適な条件下で作物を栽培するにあたり必要となる水量を灌漑要求水量として求めており、ポテンシャル量を算出しているといえる．

ところで、根層の土壌水分量は植物の蒸散によって減少していく．モデルでは、この根層の土壌水分量の減少量から灌漑要求水量を算出している．植物の蒸散量は LAI (Leaf Area Index) に強く依存しており、LAI は NDVI から算出される．本研究における NDVI は、衛星リモートセンシングによる観測値が用いられてい

表-3 年積算降水量と年積算灌漑要求水量の相関係数 (cc1) と年積算降水量と年積算 NDVI の相関係数 (cc2) を用いた解析対象領域の分類

		cc2		
		negative	neutral	positive
cc1	negative	3	13	9
	neutral	1	13	8
	positive	0	0	3

るため、実際の植生状態は、その年々変動も含めモデルにおいて表現されていると考えられる。このように考えると、SiBUC によって算出された灌漑要求水量は現実に必要とされた水量を表現できていると思われる。

つまり、モデルではその構造上、ポテンシャル量として植物の生育に必要な灌漑要求水量を算出している。一方、植物が生育するのに必要な灌漑水量は実測の NDVI から算出しており、現実に近い地表面条件で灌漑要求水量を算出しているといえる。したがって、算出された灌漑要求水量は、実際に灌漑に用いられた水量をある程度は見積もれているのではないかと考えられる。

5. 灌漑要求水量と降水量と NDVI との関係

前節では、降水量と灌漑要求水量が正の相関を示すことを、灌漑要求水量と NDVI との関係からの解釈を実施した。そこで本節では、NDVI と降水との間の関係について考察を行う。

(1) NDVI と降水量との相関分析

解析対象領域において、それぞれ年積算 NDVI と降水量の年々変動の Spearman の順位相関係数（本論文ではこれ以降 cc2 と呼ぶ）を算出し、先に算出した cc1 とあわせてこれらの関係を整理した（表-3）。ここで、本論文では「降水量」「灌漑要求水量」と同様に、NDVI についても、これ以降は特に断らない限り「NDVI」は年積算 NDVI を表すものとする。ここで着目すべき点は 2 点である。

まず一つ目は、cc1 が負の相関を示す 25 領域のうち、半数以上の 13 領域で cc2 では無相関を示しているということである。本論文ではこれらの領域を type A と呼ぶことにする。type A では、仮に降水量が減少したとしても灌漑によって水供給がなされ、作物の生育に支障をきたさなかったため、NDVI が降水量に依存することがなかったと考えられる。このことは、対象領域では実際に灌漑が実施されており、モデルによる表現もできているということを示している。

二つ目は、cc1 が正の相関を示す 3 領域において、cc2 もまた正の相関を示しているということである。本論文ではこれらの領域を type B と呼ぶことにする。type B では、作物に対する水供給が降水に依存しているため、降水量が減少すれば作物が十分には生育せず、逆

表-4 type A と type B に分類された領域

TYPE	Country	District
type A	China	Jiangsu
	China	Heilongjiang
	China	Hebei
	China	Guangxi
	China	Liaoning
	France	Bourgogne
	India	Bihar
	India	Gujarat
	United States	Illinois
	United States	Iowa
	United States	Minnesota
	United States	Ohio
	United States	South Dakota
type B	Australia	New South Wales
	France	Mid-Pyrenees
	India	Andhra Pradesh

に降水量が作物の生育に必要な量を満たせば作物が十分に生育するものと考えられる。したがって、type B では、NDVI が降水量と正の相関にあると理解できる。つまり、灌漑が必要であったが実際には灌漑が行われておらず、モデルでも灌漑要求量が算出されず、モデルが十分にその機能を果たしていると考えられる。

(2) 灌漑能力に対する考察

次に、type A と type B における灌漑能力に関する考察を行う。type A では降水量の年々変動（特に降水量の減少）は灌漑水によって補填がなされる。すなわち、灌漑によって根層の土壌水分量が適切な値に保たれ、作物の生育に十分な水分が供給されるため、NDVI が降水量の変動を受けにくくなっており、十分な灌漑能力を有していると考えられる。しかしながら、type B においては、降水量の年々変動、特に降水量の減少に対して灌漑は補填する方向には働かない。つまり、灌漑能力が十分ではないために降水量の減少に対して要求される水量を供給することができず作物の生育が制限され、NDVI 値が降水量と対応したと考えられる。

すなわち、type A では十分な灌漑能力を有しており降水量の年々変動に対して耐性があると考えられ、type B では降水量の減少に対して十分な補填を実施できる程度の灌漑能力は持ち合わせてはいないと考えられる。

表-4 に type A と type B に分類された領域を示す。中国平野部やアメリカ北部は type A に分類されており、十分な灌漑施設が存在すると推定できる。実際、これらの地域では盛んに灌漑が実施されている。フランスとインドでは type A と type B の領域が混在している。

インドにおいて type A に分類された Bihar と Gujarat はそれぞれインダス川とガンジス川の下流の平野に位置しており、灌漑水を得ることが容易であると考え

られる。また、type B に分類された Andhra Pradesh は、type A の 2 領域と比べ解析対象グリッドの平均標高が高い。そのために、十分な灌漑が実施されていないと考えられる。

フランスにおける、Bourgogne、Midi-Pyrenees ともに解析対象グリッドの灌漑実施面積率は小さく、平均標高もほぼ等しい。しかしながら、Bourgogne ではヨンヌ川やソーヌ川が流れており、運河も整備されているため、容易に農業用水を得ることができるものと考えられる。一方、Midi-Pyrenees で大河川はガロンヌ川のみであり、灌漑の実施が十分ではなかったと思われる。

オーストラリアの New South Wales もまた、type B に分類されているが、New South Wales では牧畜が盛んであり、解析対象グリッドの灌漑実施面積率は小さいため、type B に分類されたのではないかと考えられる。

このように、灌漑要求水量と降水量と NDVI の関係から灌漑能力を推定しうることが示された。本論文における考察は、ある程度の確証が得られるものもあるが、あくまで推測の域を出ていない。しかしながら、各グリッド、あるいは各行政単位にどの程度の灌漑能力が存在しているかが明らかとなっている地域は多くはなく、検証が困難であることを考慮されたい。また、モデル出力が 1 度グリッドであるため、解析対象となるグリッドが限られることも問題点である。

6. 結論と今後の展望

筆者らは、GSWP2 プロジェクトの枠組みにおいて、陸面過程モデル SiBUC を用いた灌漑を考慮した全球土壌水分分布の算定を行ってきた。本論文においては、その算定結果を示すとともに、灌漑を考慮した数値計算によって陸面水文諸量に対する影響評価を行った。

また、数値計算によって算定された灌漑要求水量について、降水量と負の相関を示す地域と、正の相関を示す地域とが混在することを明らかにし、これらの関係は NDVI によって説明可能であることを示唆した。さらに、NDVI と降水量と灌漑要求水量とを組み合わせ相関係数を算出することで灌漑能力の大きさを示唆しうることを示した。今後は、本論文によって示唆された灌漑能力の大きさに関する考察の妥当性を、現実の灌漑施設の規模や運営方法等のデータや作物生産量データ等を活用して検証していく必要がある。現時点では、作物生産量の国別データは入手済みであるが、より詳細なデータが必要である。そこで、今後は詳細な統計データの入手に尽力するとともに、他の気象要素を絡めて作物生産量に関する考察を加えていくつもりである。

謝辞：本研究は科学研究費基盤 (B)「十年にわたる全球陸面エネルギー水収支データセットの構築とその検証解析」(代表 沖太幹) の補助を得ました。

参考文献

- 1) P.Dirmeyer, X.Gao, T.Oki: The second global soil wetness project (GSWP-2) science and implementa-

tion plan, IGPO Publication Series No.37, 2002.

- 2) Manabe, S., 1969: The atmospheric circulation and the hydrology of the Earth's surface, Climate and the ocean circulation, *Monthly Weather Review*, Vol.97, pp.739-774.
- 3) Sellers, P.J., Y.Mintz, Y.C.Sud, and A.Dalcher: A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol.43, No.6, pp.505-531, 1986.
- 4) Dickinson, R.E.: Land surface process and climate-surface albedos and energy balance, *Advances in Geophysics*, Vol.25, pp.305-353, 1983.
- 5) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural Data, last accessed February 2005. (Available at <http://faostat.fao.org/>)
- 6) Turner II, B.L., R.H. Moss, and D.L. Skole: Relating Land Use and Global Land-Cover Change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project, *IGBP Report*, No. 24, 1993.
- 7) Tanaka, Kenji.: Development of the new land surface scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, doctoral dissertation, Kyoto University, 2004.
- 8) 萬和明, 田中賢治, 池淵周一: NDVI 時系列解析による全球作物分類図の作成, 水工学論文集, 第 49 巻, pp379-384, 2005.
- 9) Siebert, S., P.Doll, J.Hoogeveen: Global map of irrigated areas version 2.1, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany / Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2002.
- 10) Doll, P and Siebert, S.: Global modeling of irrigation water requirements, *Water Resources Research*, Vol.38, No.4, pp.8.1-8.10, 2002.
- 11) 花崎直太, 鼎真次郎, 沖太幹: 灌漑取水の影響を考慮した全球河川流量シミュレーション, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.403-408, 2005.
- 12) Yorozu, K., K.Tanaka, S.Ikebuchi: Creating a global 1-degree dataset of crop type and cropping calendar through the time series analysis of NDVI for GSWP2 simulation considering irrigation effect, Proc. of 85th AMS Annual Meeting, 19th conference of Hydrology, 6.8, 2005 (CD-ROM)
- 13) 除玉民, 郭国双: 中国主要作物需水量与灌漑, 水利電力出版社, 1995.
- 14) Hall, F.G., B.Meeson, S.Los, L.Steyaert, E.Brown de Colstoun, D.Landis, eds.ISLSCP Initiative II. NASA. DVD/CD-ROM.NASA, 2004.
- 15) 近藤純正: 地表面に近い大気の科学, 東京大学出版会, 2000.
- 16) 市原清志: バイオサイエンスの統計学, 南江堂, 1990.