

黒河流域灌漑農地における蒸発散と水循環モデルの適用について

窪田 順平（総合地球環境学研究所）

1. はじめに

半乾燥域を含む黄河領域においては、土地利用変化が水循環に与える影響を水文モデルによって評価するためには、従来の自然流域を対象としたモデルに灌漑農地のプロセスを組み込むことが必要不可欠である。本研究では、黄河領域の西部にあって、灌漑農地が発達した黒河流域を対象として、過去の灌漑農地における蒸発散の研究をレビューするとともに、灌漑農地を含む流域に対し水循環モデル（HYCY model）の適用を試みた。

2. 対象流域の概要

黒河は、中国西部、甘肅省の南面が黄河上流部に含まれる祁連山脈を源として、灌漑農業の盛んな張掖、酒泉等のオアシス都市の存在する中流部を経て、内蒙古自治区の砂漠地帯に入って消滅する内陸河川で、全長約400km、流域面積はおおよそ130,000km²である。上流部の祁連山脈には氷河が存在し、また積雪も含めて年降水量は600mm程度である。中流のオアシス地域では100～200mm程度、下流の砂漠地帯では50mm程度である。中流のオアシス地域は、河川水、地下水を利用するかんがい農地が広く存在する。主要な作物は小麦（春蒔）、トウモロコシなどである。

3. HEIFE プロジェクト

(1) プロジェクトの概要

黒河では、1989年から1993年まで当時の中国科学院蘭州高原大気物理研究所（現寒区旱区環境与工程研究所）と京都大学防災研究所を中心に、中流部の代表的なオアシスである張掖、臨澤付近で気象・水文プロジェクト「黒河流域における地空相互作用に関する日中共同研究（HEIhe river Field Experiment）」が行われた（光田、1996、玉川、2002）。

このプロジェクトでは、大気大循環モデル(GCM)のグリッドに相当する100kmスケー

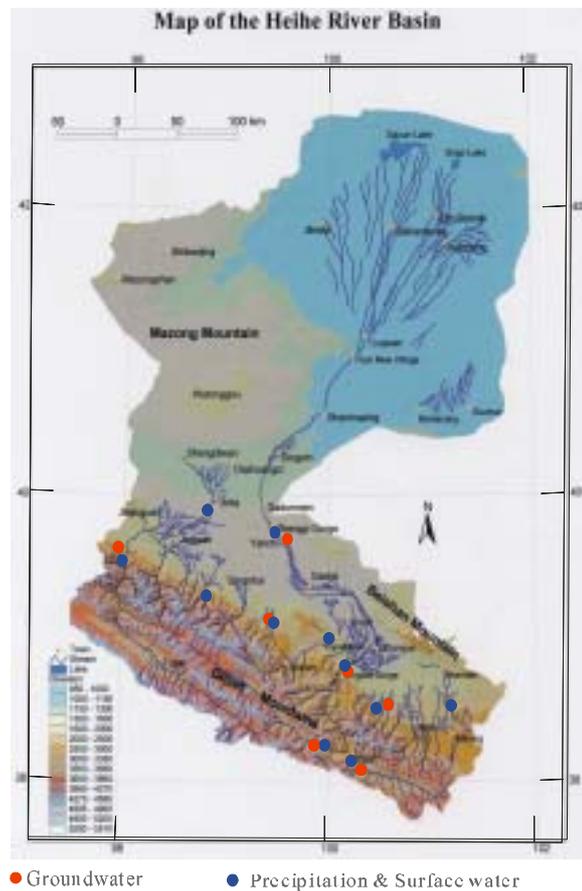


図1 黒河流域の概要

ルでの地表面および水文過程における蒸発、降水、流出、熱輸送といった問題に対して役立つ総合的なデータセットを作成することを目標として、既存データの収集とともに多くの観測が行われた。その際得られた膨大なデータセットは、京都大学防災研究所大気災害研究部門暴風雨災害研究分野の WWW サーバ上で公開されている (<http://ssrs.dpri.kyoto-u.ac.jp/~heife/>)。

(2) HEIFE プロジェクトで観測された灌漑農地からの蒸発散

HEIFE プロジェクトでは、灌漑農地や砂漠など様々な地表面状態の水・熱収支観測が行われているが、Tsukamoto *et. al* (1995) によれば、張掖の灌漑農地で年間 535.4mm の蒸発散量が観測されている。またその季節変化を図 2 と表 1 に示す。この圃場では春から小麦が作られ、その後 6 月から豆類が作られた。

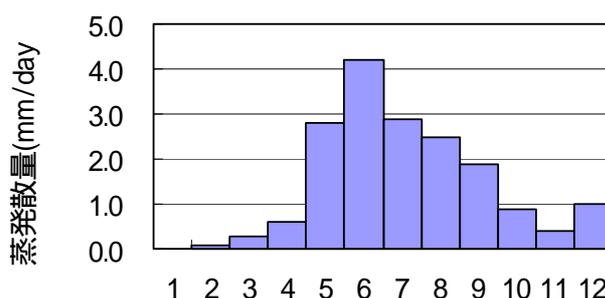


図 2 蒸発散量の季節変化

(Tsukamoto *et. al* (1995) より作成)

現地での聞き取り調査によれば、張掖地区では通常 3 月より灌漑を開始し 8 月末までに数回にわたって約 600mm 程度が投入されるようである。さらに収穫後の 9 月から 10 月にかけて次年度にむけての灌漑水が投入される。観測時に実際どの程度の灌漑が行われたかは不明であるが、降水もあわせると蒸発散量を 200mm 程度上回る灌漑が行われているようである。

表 1 張掖の圃場における蒸発散量の季節変化 (Tsukamoto *et. al.* 1995より作成)

月	蒸発散量	蒸発パン に対する 比	乱流計測 による値	蒸発パン
1	0.0	0.000		1.2
2	0.1	0.050		2.0
3	0.3	0.061		4.9
4	0.6	0.071		8.4
5	2.8	0.280	2.8	10.0
6	4.2	0.433	3.9	9.7
7	2.9	0.305		9.5
8	2.5	0.284	3.4	8.8
9	1.9	0.302		6.3
10	0.9	0.205	1.7	4.4
11	0.4	0.200		2.0
12	1.0	10.000	0.2	0.1
年間	535.4			2047.9 (mm)

季節変化を見ると、通常の農地で灌漑が始まっていると思われる 3 月、4 月の蒸発散量が少ない。この時期はまだ小麦が小さいことによると思われるが、実際のこの圃場における

灌漑の実態がわからないため、詳細は不明である。また 6 月に大きなピークが見られるが、これは小麦の最も成長が盛んな時期と、豆類の播種が重なったためと思われるが、この点はさらに検討が必要である。

4. 水循環モデルの適用

ここでは水循環モデル (Ma and Fukushima(2002)) を、灌漑農地を含む黒河流域への適用を検討する。灌漑農地へのモデルの適用にあたって問題となる点は次の2点である。まず水循環モデルでは、蒸発散量をビッグリーフモデルで求めるが、灌漑農地でどのように与えるかが問題となる。一般に半乾燥地などで大気が乾燥する際には、それに応じて土壌水分も減少する。しかし灌漑農地では土壌水分を補給することによって、植物体内での水分減少によって気孔が閉じることがないようにしている。つまり通常は大気飽差の増大によって気孔が閉じてしまうような条件でも、そうした蒸散抑制が起きないようにしている。この効果をどのように取り込むかが第1のポイントである。また灌漑水の供給をどのように扱うかが第2の問題である。ここではまず、灌漑農地の最小群落抵抗(rc_{min})を通常よりかなり小さくとることで評価することにした。実際には、上流域は樹高 10m の森林、 $rc_{min}=150ms^{-1}$ 、灌漑地：高さ 1.5m の植生、 $rc_{min}=180ms^{-1}$ 、ゴビ域は草丈 0.5m、 $rc_{min}=1800ms^{-1}$ とした。また灌漑水の水源である上流域と灌漑農地を含む中流域とを別個に計算することとし、4月から9月の間は上流域からの流出水をすべて農地へ降雨と同じように月毎の平均値として与えることとした。なお、今回は水収支のみを検討することとして、河道流の追跡計算は行っていない。また気象要素は張掖のデータを用い、気温のみ高度減率 ($0.6 / 100m$) を考慮し、降水量は HEIFE で得られた高度分布の結果を参考に与えた。

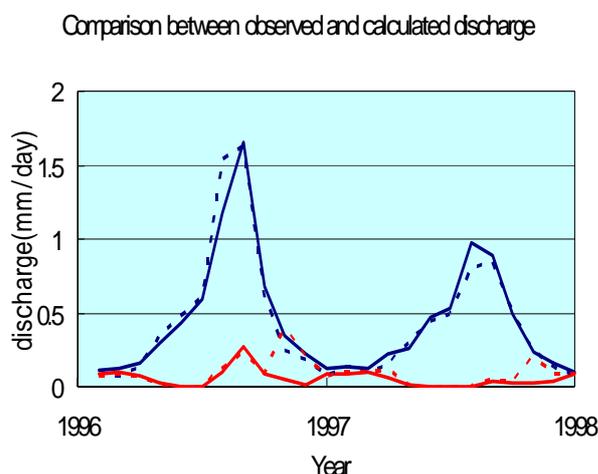


図3 水循環モデルによる計算結果

表2 張掖圃場における蒸発散量の比較 (実測値はTsukamoto et. al. 1995より引用)

Month	Obs	Model	A-Pan
1	0.0	0.2	1.2
2	0.1	0.1	2.0
3	0.3	0.2	4.9
4	0.6	2.0	8.4
5	2.8	3.2	10.0
6	4.2	3.8	9.7
7	2.9	3.2	9.5
8	2.5	2.8	8.8
9	1.9	2.1	6.3
10	0.9	0.7	4.4
11	0.4	0.5	2.0
12	1.0	0.2	0.1
Annual	535.4	577.9	2047.9 (mm)

図3に上流域から流出量(青線)と中流域末端での流出量(赤線)の計算結果を示す。なおそれぞれ実線が観測地、破線が計算値である。月単位での値ではあるがおおむね良好な再現結果が得られた。

また表2に、張掖での灌漑地での蒸発散量の計算値と HEIFE プロジェクトで得られた結果との比較を示す。年間の蒸発散量としてはおおむね再現できているが、モデ

ルでは3月、4月に過大になってしまうこと、6月のピークが出ないことなど必ずしも十分な再現結果とはなっていない。灌漑農地での蒸発散プロセスについて、さらに改良の必要がある。

引用文献

Ma, X. and Fukushima, Y. (2002): Numerical Model of River Flow Formation from Small to Large Scale River Basin. In Singh, V. P. and Frevert, D. K. (ed.) "Mathematical Models of Large Watershed Hydrology", Water Resources Publications, 891pp, 433-470.

光田 寧編(1996)：乾燥地の自然環境, 気象研究ノート, 184, 日本気象学会、153pp .

玉川一郎 (2002) : 河西回廊での水文気象研究 HEIFE .

<http://tama.cive.gifu-u.ac.jp/~tama/Documents/kaiho-tama/>

Tsukamoto, O., K. Sahashi and J. Wang (1995): Heat budget and evapotranspiration at an oasis surface surrounded by desert, Jour. Meteor. Soc. Japan, 73, 925-935.