

カザフスタン・イリ川下流域灌漑地区における 地下水位変動特性とその要因に関する研究

水利用学分野 安西 俊彦

キーワード：乾燥地域、水稲・畑輪作、塩類集積、用水管理

1. はじめに

中央アジアに位置し、大陸性乾燥気候に属するカザフスタン・イリ川下流域では、1960年代より大規模な灌漑農業が行われてきた。しかし、ソ連崩壊による社会経済的環境の変化は農業にも影響を与えた。近年では、上流国中国との国家間での水利調整問題に加え、カザフスタン国内においてもイリ川中流域に建設された冬季発電用ダム（カプチャガイダム：夏季に貯水し冬季に発電用に放流する）との水利調整問題も顕在化している。また乾燥地での灌漑は、地下水位の上昇とそれに起因する塩類集積を誘因する可能性があり、本研究対象地でも同様の問題が懸念されている。よって持続的な農業に対し地下水位の適切な管理が求められる。そこで本研究では地下水位変動に着目し、灌漑地区運用開始以降の時間的な変動と、近年の空間的な変動のそれぞれについて地下水位変動特性を明らかにし、その変動要因を分析した。

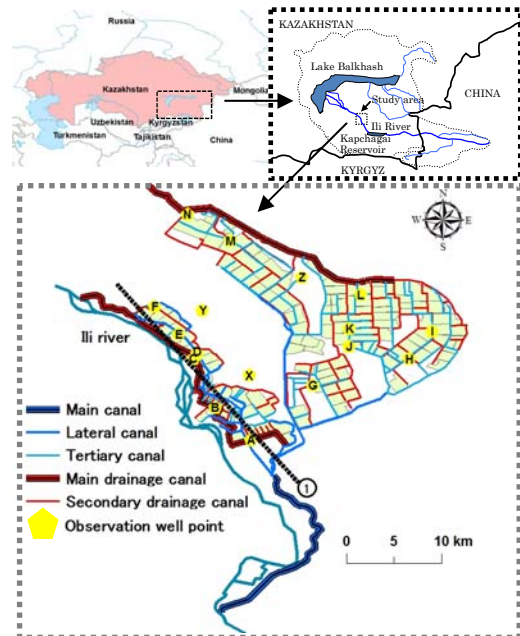


Fig.1 Study area

2. 研究方法

2.1 研究対象地区の概要

研究対象地区は、カザフスタン・イリ川下流域にあるアクダラ灌漑地区（約3.2万ha）の南部（約1.5万ha）である（Fig.1）。本地区では、年間降水量約100mm～130mm、灌漑期間である5月～8月の期間降水量は10mm～70mmと少なく、灌漑が必要不可欠である。また気温条件により灌漑期間が5月～8月の約120日間に限定される。ソ連時代はソフホーズ体制（国営農場）で農業生産が行われ、必要な資機材は全て国から供給され、農産物は国に納めていた。しかしソ連崩壊後、ソフホーズは解体・民営化され共同農場となり、資機材の調達から販売まで全てを独自に行う必要に迫られた。

2.2 分析方法

1960年～1980年代の取水量・灌水量データを、現地の公文書資料館所蔵の水利報告書から収集した。それ以降の取水量・灌水量・作付け・排水不良地（湛水化が起きている農地）データは、カザフスタン水資源委員会の年次水利報告書を参照した。観測井戸の標高・月ごとの地下水位データは、水資源委員会の内部資料を引照した。地下水位の時間的な変動は、取水量・灌水量変化と地下水位変動から分析を行った。地下水位の空間的な変動は、作付け・排水不良地・灌水量の変化と地下水位の関係から分析した。作付け・排水不良地の年ごとの変化は、報告書のデータを基に地理情報システム（GIS）を利用し、図示化を行い調べた。さらに観測井戸の標高と地下水位のデータから、農場の地表面標高と灌漑期・非灌漑期における地下水位との関係を分析した。

3. 結果と考察

3.1 農地・水利用

本地区の圃場1筆の面積は1ha～2haと大区画で、その圃場が50筆程度集まって農区（約100ha）を形成し、基本的に1つの農区に同一作物が作付けされる。主要作物は水稲・飼料作物・麦であり、水稲3年と畑作物3年～4年の6年～7年輪作が6～7農区を1つの輪作ブロックとして行われている。水稲作を輪作に組み込む理由は、水稲が換金作物であるだけでなく、水稲作を行うことで畑作時に集

積した塩のリーチング効果が期待できるからである。

本地区の用水路は、幹線水路から末端まで土水路であるため、大量の水が地下に浸透する（幹線水路から末端水路までの搬送効率：45%）。畑作物への灌漑は生育初期に1, 2回行う程度で、その後畑作物には灌漑を行わず、水稲にのみ連続灌漑を行う。また畑作圃場周囲の用水路・水稲作圃場からの浸透で、地表面下約2 m程度まで上昇した地下水を、畑作物が利用する灌漑方式が適用されている。

Fig.2 に水稲作圃場への灌水量変化を示す。対象地区の灌水量は1980年代にピークを迎え、現在は全盛期の約半分まで減少している。灌水量が非常に多い理由は、水路からの浸透量が多く、また減水深が大きいことに加え、圃場整備が不十分なため、必要以上に水を配ることになり、さらに広大な農地面積に対し管理する人的資源に限りがある（約40 ha/人）ため、細かい管理ができないからである。

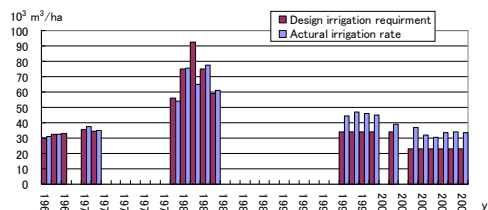


Fig.2 Fluctuation of irrigation rate

3.2 地下水位の時間的変動

イリ川下流域では、1967年より大規模な農地開発が始まり、1970年代より本格的に水稲作が導入された。Fig.3にWell G Iにおける灌漑盛期である8月の地下水深（地表面から地下水面までの深さ）と、アクダラ灌漑地区における取水量の変化を示す。水稲の本格的な導入が始まった1970年代よりアクダラ灌漑地区へ大量の取水が行われている。また地下水深に関しては、Well Gの開発当時における灌漑期の地下水深は約8 mであったが、大規模な取水開始と合わせて、1970年代前半から急激に地下水水位が上昇し、灌漑期で地下水深が約2 mとなった。その後、取水量は1980年代にピークを迎え約12億m³であったが、現在では約6億m³まで減少している。また地下水位ではWell Iは1980年代では1 m程度の地下水深を維持していたが、現在、変動はあるものの減少傾向を示し、加えてこの傾向は全17観測井戸中の10井戸で見られた。現在、地表面から1.0 m~1.5m程度の高い地下水位を維持しているが、今後さらなる取水量の減少に伴い地下水水位が低下し、現行の灌漑方式では畑作を維持できなくなる可能性が考えられる。

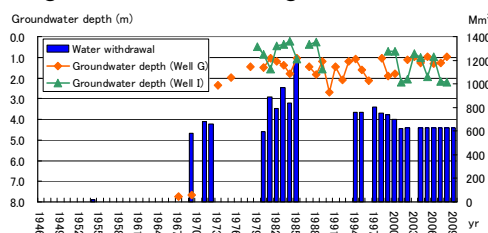


Fig.3 Fluctuation of groundwater level on August and annual water withdrawal

1980年代以降の地下水水位変動を分析するために、社会経済的に激変が起きたソ連崩壊（1991年）を考慮し、1980年代・1990年~1992年・1990年代（1990年~1992年を除く）・2000年代の各年代に分けた。各年代における灌漑地区の5地点（西側支線水路上流・下流、中央、東側支線水路上流・下流）の8月の地下水深の平均値と単位面積当たりの水稲作圃場への灌水量の平均値をFig.4に示す。1980年代は水稲作圃場への灌水量はピークを迎えており、最大で約8万m³/ha（1983年）を灌水しており、地下水位も他の年代に比べて高い傾向を示した。またソ連崩壊とその前後を含む1990年~1992年では、地下水位が低い傾向を示している。このことはソ連崩壊による社会経済的混乱により、灌漑農地への投入資本・資材が不足し、十分な農業活動を行えなかったことが推測され、その結果、農地に灌漑が例年通り行えず、地下水位が低くなったと考えられる。すなわち灌漑開発前では地表面から約8 mであった地下水位は、水稲作導入による取水量の増加で急激に上昇し、灌漑全盛期である1980年代に取水量・地下水位ともにピークを迎えるが、ソ連崩壊により1990年代初期に地下水位が低下した。現在、取水量が減少し地下水位も低下傾向にあり、取水量と地下水位に関係が見られた。

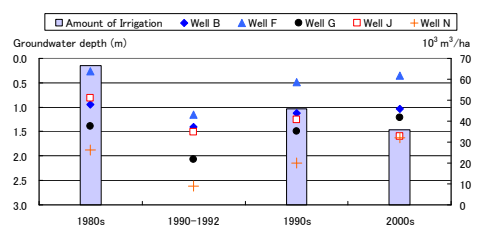


Fig.4 The relation between groundwater level and amount of irrigation

3.2 地下水位の空間的変動

地区全体の地下水水位変動特性を見るために、東側・西側・非灌漑地区からそれぞれWells F, L, X (Fig.1)を選定し、3地点の2005年~2008年の地下水水位変動をFig.5に示す。灌漑地区内のWells F, Lでは、灌漑が始まる5月から急激に地下水水位が上昇し、7, 8月に地下水位は最も高くなり、そして灌漑が終わ

る9月に地下水位は急激に低下し、その後10,11月以降緩やかに低下する。この変動を灌漑地区内の地点で毎年繰り返す。一方、灌漑地区外の Well X では、地下水位が最も高くなるのが8,9月で、灌漑地区内の地点よりも1ヶ月遅れて変動する。これは灌漑地区外の Wells Y, Z でも見られた。

次に非灌漑期と灌漑期の地下水面勾配と地表面勾配の関係を分析した。西側支線水路の上流から下流に延びる Fig.1 のライン①に沿って、各地点の地表面と2005年～2008年の3月と8月の地下水位の平均値を Fig.6 に示す。非灌漑期である3月の地下水面勾配は地表面勾配とほぼ平行だが、灌漑期である8月は、場所により地下水位の上昇値が異なり、地下水面勾配と地表面勾配が平行とはならなかった。

そこで全観測井戸における2005年～2008年の3月～8月にかけての地下水位変動幅の平均値を Fig.7 に示す。灌漑地区内の地点 (Wells A～N) の変動幅は1m～2mであり、地点により上昇幅が異なった。一方、灌漑地区外の地点 (Wells X, Y, Z) では約0.5mであった。このように灌漑地区内の各地点で地下水位の変動幅が異なり、また灌漑地区外にも灌漑の影響が見られる。以上のことから、本地区では、地点により地下水位の変動幅が異なるため、地下水位の上昇は灌漑地区全体で一様ではなかった。

3.3 地下水位変動の要因分析

前節の通り地点により地下水位変動幅が異なることが分かった。この要因としては、水稲作圃場の配置・排水不良地の位置・水稲作圃場への灌水量が考えられる。そこで、各要因と地下水位の関係について分析を行った。

水稲作圃場が観測井戸周囲にある場合、圃場からの浸透水により地下水位は高くなることが予想される。そこで水稲作圃場と地下水位との関係を分析するために、GIS上で地下水位観測井戸を中心とする円を想定し、各円に含まれる水稲作圃場面積率と地下水位との関係を分析した。円の半径は、現地の水稲作圃場に隣接する畑作圃場で行った地下水位測定結果をもとに決定した。水稲作圃場からの距離と畑作圃場での地下水位測定の結果を Fig.8 に示す。図より水稲作圃場から約500mまで地下水位が低くなり、その後は緩やかに低下していくことから、500mを水稲作圃場の影響範囲とし、円の半径に適用した。排水不良地が観測井戸周囲に存在する場合、地下水位は高くなることが考えられる。そこで水稲作圃場と同様にGIS上に地下水位観測井戸を中心に円を作成し、各円に含まれる排水不良地面積と地下水位との関係を分析した。なお上述の理由からこの円の半径も500mとした。最後に水稲作圃場への灌水量は、各支線水路の配水量と、地区の水稲作圃場面積より算出した。灌漑される量の変化は地下水位に影響を与えると考えられる。

以上の要因が各観測井戸の地下水位変動に与える影響について重回帰分析を用いて分析した。水稲作圃場面積、排水不良地データは1994年、1999年～2002年、2004年～2008年、灌水量データは、1999年、2002年、2004年～2008年を用いた。地下水位は最も高くなる8月の地下水位を用いた。

Table1は3つの要因と8月の地下水位との重回帰分析の結果を示す。Table1よりWells A, B, I, Lでは水稲作圃場面積率と地下水位との間に関係が見られた。Fig.9に水稲作圃場面積率と地下水位との関係を示す。この図より水稲作圃場がない場合、地下水位は低くなる傾向を示し、水稲作圃場がある場

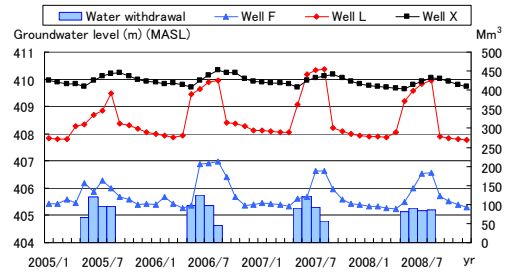


Fig.5 Fluctuation of groundwater level and water withdrawal

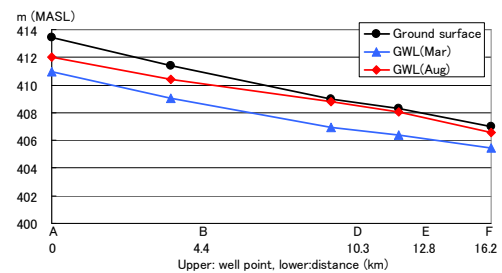


Fig.6 Ground surface and average groundwater level profile along line ①

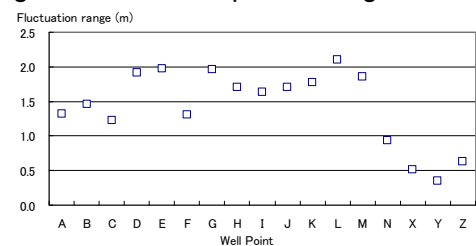


Fig.7 Fluctuation range of groundwater level at each Well point

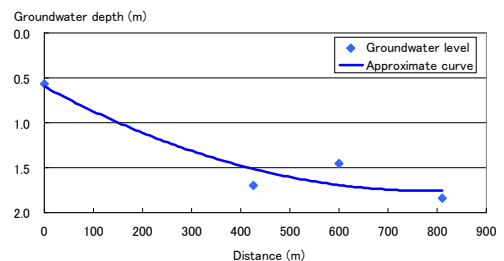


Fig.8 The relation between groundwater level and distance from paddy rice field

合、地下水位は高くなる傾向が見られた。一方、Table1 より西側支線水路下流の Wells D, E, F と東側 Well H の4 地点ではどの要因とも関係が見られなかった。Fig.10 に3月と8月の各観測井戸における地下水位の平均値を示す。先の4地点の3月の地下水位は毎年高い値を示すため、灌漑期で地下水位が上昇し、毎年ほぼ湛水状態となりそれ以上は排水路の機能で上昇せず、各要因との相関が見られなかったと考えられる。Well K は作付けに関係なく、毎年地下水深は約1 m である。これは井戸周囲の農地のほとんどが排水不良地であるため、毎年地下水位が高くなったと考えられる。Well N では毎年1.5 m 以下の地下水深を保っている。これは他の観測井戸に比べ排水路が深く、要因の変化に関わらず低い地下水位を維持していると考えられる。Well J では1994年～2002年では水稲作圃場がない場合、地下水位が低くなったが、2004年以降、作付けに関わらず地下水位が高くなっている。これは2004年以降、排水路機能が低下し、作付けに関わらず地下水位が高くなったと考えられる。Well M における地下水位変動は、各要因と関係が見られなかった。これは排水路がある程度機能しており、要因の影響が明確に出なかったと考えられる。Fig.11 に分析結果をまとめた。現地調査から西側支線水路下流は常に農地の湛水化が発生し、また東側中央部では排水路の機能不備による農地の湛水化が発生していることが判明している。

4. まとめ

灌漑地区の地下水位変動を時間的・空間的に分析し、以下の知見を得た。時間的特性に関しては、1) 灌漑地区開発前の地下水位は地表面から約8 m であったが、水稲作が本格的に導入された1970年代以降、4,5年で地下水位が2 m 程度まで急激に上昇した。2) 取水量がピークを迎える1980年代に地下水位が最も高くなったが、現在取水量は減少し、地下水位も減少傾向にある。

一方、空間的特性に関しては、1) 灌漑地区の地下水位は灌漑が始まる5月から急激に上昇し、7月～8月にピークを迎え、そして灌漑が終わる9月に急激に低下し、その後10,11月以降緩やかに低下する。この変動を灌漑地区の各地点で毎年繰り返す。2) 非灌漑期における地下水面勾配は、地表面勾配とほぼ平行だが、灌漑期の地下水面勾配は地表面勾配と平行ではない。3) 灌漑期での地下水位上昇は地点により一様ではない。このことから、地下水位変動に影響を与える要因があり、その要因として水稲作圃場・排水不良地・灌水量が考えられ、地下水位との関係を分析した。その結果、水稲作圃場の存在が地下水位を上昇させることがわかった。しかし地点によっては、非灌漑期の地下水位、排水路深さ、排水不良地が地下水位に対しより大きな影響を与え、水稲作圃場の影響が見られなかった。また灌水量と地下水位との間に明確な関係が見られなかったが、取水量と地下水位との間に関係が見られたことから、灌水量の変化も地下水位変動に影響を与えると考えられる。そこで他の要因も含め各要因の地下水位への影響を定量化することが求められ、モデル等の手法により地下水位変動メカニズムを明らかにし、点的にとらえた地下水位変動を面的に明らかにすることが求められる。

Table1 The result of multiple linear regression analysis

	Well	Multiple correlation coefficient R	Multiple decision R2	t value		
				Rice cultivation area	Poor drainage area	Irrigation rate
WEST	A	0.82	0.67	-1.69	-0.16	0.58
	B	0.92	0.85	-3.54	2.01	1.84
	D	0.33	0.11	-0.77		-0.15
	E	0.20	0.04	0.36		-0.08
	F	0.40	0.16	-0.92		-0.29
	H	0.59	0.35	0.08	0.92	-0.82
EAST	I	0.68	0.46	-1.43	0.64	0.64
	J	0.45	0.20	-0.59	0.20	-0.58
	K	0.63	0.40	-0.09	-0.55	0.95
	L	0.97	0.93	-2.13	-3.46	3.17
	M	0.58	0.33	-0.27	-0.70	0.87
	N	0.42	0.17	-0.62		0.83

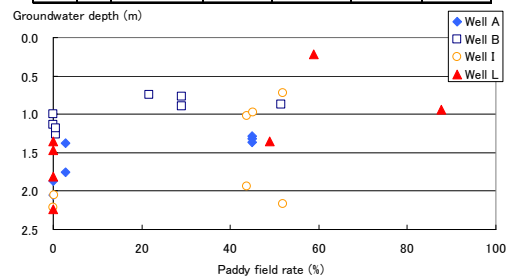


Fig.9 The relation between rice cultivation area and groundwater level

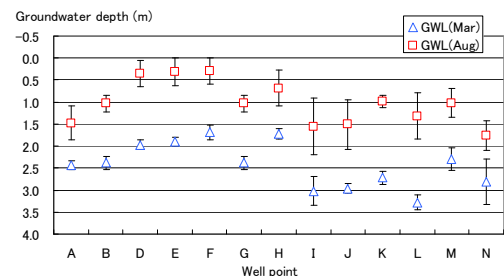


Fig.10 Average groundwater depth on March and August on each wells

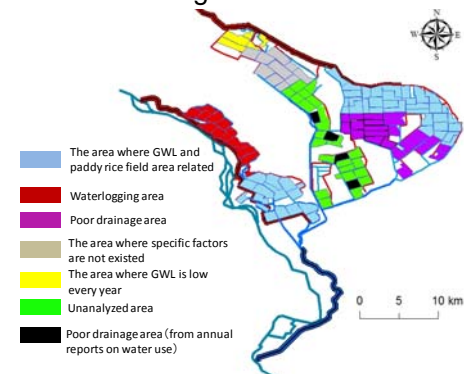


Fig.11 The graphic display of result of groundwater level fluctuation analysis