

中央アジア乾燥地・半乾燥地の土壌と農業

舟川晋也*, 小崎隆**, 鈴木玲治**, 広岡青央*,
 金谷新志郎**, エルミーラ・カルボゾバ**
 (*京都府立大学農学部, **京都大学農学部)

Soils and agriculture in the arid and semiarid regions in Central Asia

Shinya Funakawa*, Takashi Kosaki**, Reiji Suzuki**, Kiyoo Hirooka*,
 Shinjiro Kanaya**, and Elmira Karbozova**

**Kyoto Prefectural University, **Kyoto University*

1. はじめに

中央アジアの地勢をごく大雑把に眺めてみれば、南部がパミール、テンシャン等の高峰によって区切られている一方、中央部には東西にアラル海、バルハシ湖等の湖が帯状に連なっており、この沙漠地帯を幾筋かの大河——アムダリア川、シルダリア川、イリ川など——が北流している。これらの河川水を利用することによって、主として1960年代以降、水稻あるいは綿花を主要作物とする大規模な灌漑農業が展開されてきたわけである。しかしながら1980年代も後半に入ると、アラル海など河川下流の湖沼の縮小や灌漑耕地周辺土壌の塩性化をはじめとして、様々な環境問題が顕在化してきた。Razanov¹⁾によれば、中央アジアでは既に百万ヘクタールの土地が誤った灌漑によって失われたとされている。またKhakimov²⁾は、カザフスタン灌漑耕地のうち60%から70%が土壌塩性化の影響を受け、作物収量の低下が見られると述べている。

一方、目を北に転じると、この沙漠地帯から北緯50度あたりにかけて年間降水量は徐々に増加し、北部カザフスタンでおよそ350 mmとなっている。このあたり南北

300 kmほどのステップ・ベルト地帯は、今日では広大な穀作地帯となっている。中央アジア南部沙漠地帯における大規模灌漑農業が、ある意味でもっとも極端な自然生態環境の改変を伴っているとみられるのに対して、ステップ地帯のチェルノーゼム（黒土）は、一般的には農耕に適した肥沃な土壌の代表例と考えられてきた。しかしながら、この肥沃な黒土・ステップ生態系においても、近年風食や穀類連作に伴う表土の消耗により土地生産性の低下が問題となっている。

旧ソ連邦末期になって顕在化してきたこれらの問題は、中央アジアにおいてこれまで展開されてきた大規模近代農業が、一方では中～長期的な生産持続性を犠牲として成り立ってきたことを物語っている。本稿では、主としてカザフスタン共和国における農業の現状および問題点について、一部ウズベキスタン共和国の例も紹介しながら、とくに土壌生態系の劣化とそれに対する対策はいかにあるべきかという点から論じていきたい。

2. 中央アジア南部乾燥地域における大規模灌漑農業の現状と課題

カザフスタン共和国南部とウズベキスタン共和国全域、それに未調査ではあるがトルクメニスタン共和国では、現在大規模灌漑による綿花および穀類の生産が広く行われている。これら大規模灌漑農業は、その灌漑様式・輪作体系の違いから、1) 水稲作を含む灌漑農業、2) 綿花作中心の灌漑農業、に大きくは二分される。

2. 1 調査農場の概要

本稿では、1992年以降行ってきた一連の現地調査の代表例として、イリ川下流域バカナス地方のベレケ農場（以下BK農場）、シルダリア川下流クジルオルダ地区のカラウルトゥーベ農場（以下KR農場）、シルダリア川上流部のフェルガナ盆地（以下FG地区）、同じく中流域左岸のシルダリア川地区（以下SD地区；ウズベク領）・デュティサイ農場（以下DZ農場；カザフ領）、およびシルダリア川中流支流沿いのチムケント北部地区（以下NCH地区）の5地域について、土壌塩性化の実態を中心として論じる（Fig.1）。前2者では水稲中心の作付けが、また後3者では綿花中心の作付けが行われている。BK農場、KR農場、DZ農場における輪作体系

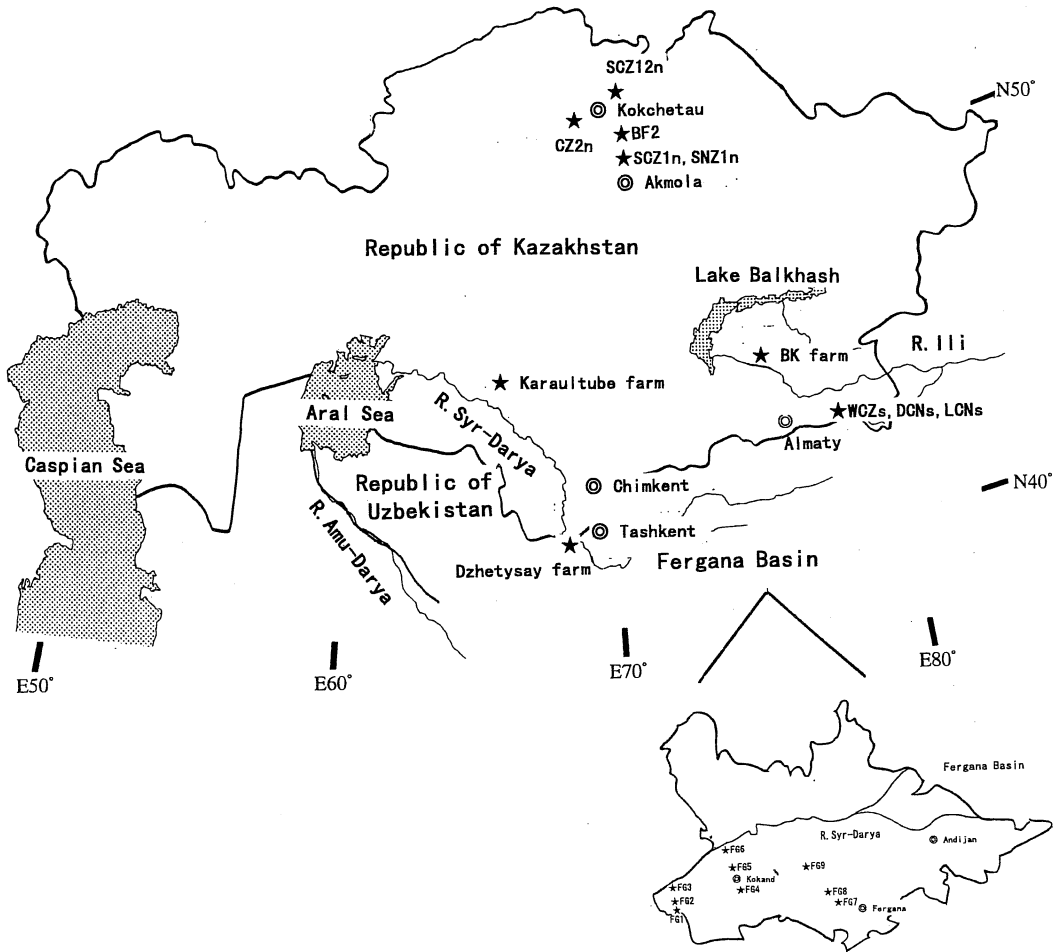


Fig. 1 Sampling sites

をFig.2に示す。

BK農場：アルマティの北方250 kmのイリ川扇状地の中に位置している。年平均降水量は150 mm，年平均気温は9℃である。農場は1979年に開かれ，水稲作2年を含む4年輪作体系をとっている。すなわち1・2年目には圃場を湛水して水稲を，3年目に大麦を，3年目から4年目にかけてアルファルファを栽培する。水稲耕作期間の灌漑水量は3,000～4,000 mmである。畑作圃場では直接湛水されることはないが，常時高いレベルにある地下水によって涵養されている。またこの農場の灌漑排水は一本の水路に集められ，イリ川へと戻されている。

KR農場：シルダリア川下流域の都市クジルオルダの東約20 kmに位置している。ここでも水稲作中心の輪作体系をとっており，7年1サイクルの輪作のうち3年は水稲作である。農場からの排水は，農場はずれの低地に池として集められ，後は自然の蒸発に任されている。現地での観察によれば，農場自体が周囲よりも若干低いところに位置しているためか，排水路の水に流れがなく溜まっている状態であり，排水網がほとんど機能していないように見受けられた。

FG地区：古くから灌漑による綿花栽培が行われている地域である。盆地の北側をシルダリア川が東から西へ向かって流れ，シルダリア川南側が広い沖積地になっている。盆地全体は，南から北へ，また東から西へごく緩い傾斜をもって下がっている。降水量は盆地西半で100 mm程度，東半で若干大きく200 mm程度であるという。綿花農場では水稲耕作地のように湛水されることはなく，年間およそ800 mmの灌漑水で畝間灌漑が行われる。ただしこれ以外に，除塩のため，耕作前に水のかけ流しが行われることがある。この地域の地下水位は1.5 m程度と概して高く，水稲耕作農場と同様に，排水はやや深く掘られた排水路へ直接なされており，原則としてシルダリア川へ流されている。この地域では，盆地の南北方向にシルダリア川からの距離を違えて3地点ずつ3トランセクトを設定し，土壌試料を採取した。

DZ/SD地区：カザフ南部の都市チムケントの南西約200 kmに位置する綿花作中心の地域である。年平均降水量および年平均気温は，タシケントでのデータによれば，それぞれ約430 mm，14℃である。ただし農場での降水量は，この値よりは小さくなるであろう。この地域の灌漑水路は互いにかなり離れており（一筆の圃場が広い），また排水は，地下水を井戸からポンプで汲み上げる垂直式排水であった。た

だ近年の経済的困難のため、排水設備の修理がなされず、また燃料（電力）が調達できないため排水ポンプを十分に稼働させられない結果、不十分な排水に起因する地下水位の上昇および土壌塩性化の進行が広く見られるという。

NCH農場：シルダリア川下流部右岸にやや離れて連なる低い山脈からの流水を灌漑用に利用している、綿花作中心の農場である。

これらの農場において採取した土壌を風乾後2mmメッシュで篩別し、飽和水抽出液について、土壌pH、EC、水溶性塩類含量を求めるとともに、粒度組成、有機炭素および炭酸塩含量を測定した。また灌漑水・灌漑排水については、pH、ECを測定後ろ過し、各イオン濃度を測定した。

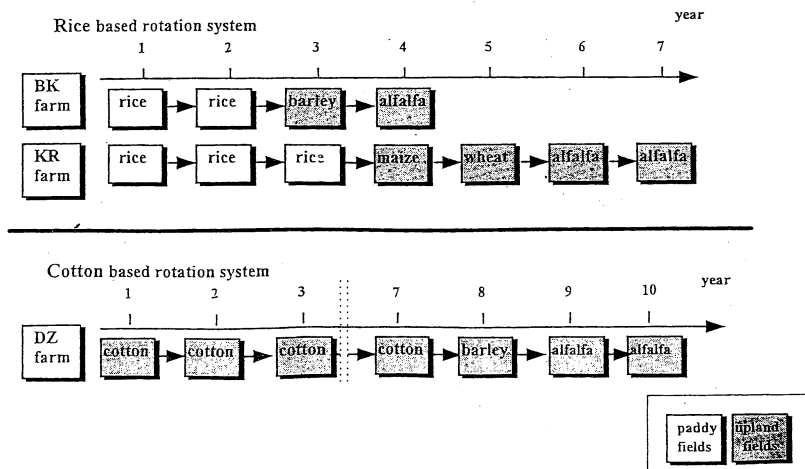


Fig. 2 Crop rotation systems in the BK. and DZ farms.

2. 2 水稻耕作を含む輪作体系における塩類の動態

調査対象とした農場のうち、BK, KR, DZ農場の代表断面における土壌の理化学性をTable 1に、またBK農場およびKR農場の輪作中各ステージにおける土壌中の水溶性塩類含量をFig.3に示す。いずれの農場でも低い有機炭素含量（1%以下）と高い炭酸塩含量（ CaCO_3 当量で5%以上）が特徴的であった。

Table 1 General physicochemical properties of the soils in the irrigated farms studied

Site and depth (cm)	pH	EC (mS cm ⁻¹)	SAR (mmol L ⁻¹) ^{1/2}	Watersoluble salts					Particle size distribution			Organic carbon (%)	Carbonate carbon (%)	CEC (cmolc kg ⁻¹)	
				Na	Mg	Ca	Cl	SO ₄	Sand	Silt	Clay				
				----- (mmolc kg ⁻¹) -----					----- (%) -----						
BK34 (cropping field, 2nd year of upland cropping)															
0-10	8.23	6.87	5.62	0.97	0.81	0.99	0.45	1.95	50.1	35.9	14.0	.	.	.	8.8
50	8.45	1.81	3.78	0.28	0.14	0.17	0.10	0.43	26.2	49.7	24.1	.	.	.	13.8
100	8.12	3.37	1.75	0.25	0.43	0.80	0.03	1.28	51.5	36.0	12.4	.	.	.	11.8
200	8.32	0.91	3.03	0.16	0.09	0.07	0.06	0.19	1.1	58.5	40.4	.	.	.	16.4
300	8.10	1.39	1.86	0.10	0.09	0.10	0.18	0.13	3.7	68.1	28.2	.	.	.	12.4
400	8.31	1.89	2.24	0.19	0.20	0.22	0.22	0.31	3.3	62.7	34.1	.	.	.	18.3
500	8.30	0.60	2.76	0.10	0.04	0.03	0.04	0.09	66.2	26.0	7.8	.	.	.	4.4
BK42 (cropping field, 1st year of paddy)															
0-10	7.75	2.24	2.28	0.19	0.13	0.29	0.23	0.38	1.6	35.0	15.0	0.57	0.99	.	.
25	8.12	1.84	2.63	0.21	0.13	0.25	0.20	0.25	1.8	63.8	29.0	0.51	1.33	.	.
50	8.32	1.25	3.73	0.20	0.08	0.08	0.10	0.21	1.3	72.1	25.0	0.30	1.03	.	.
75	8.22	1.59	4.36	0.26	0.11	0.11	0.12	0.26	1.2	73.2	22.6	0.31	0.88	.	.
100	8.04	1.69	3.84	0.25	0.12	0.14	0.13	0.30	1.2	79.8	14.0	0.28	0.96	.	.
BK113 (uncultivated field adjacent to the irrigation canal)															
0-6	7.34	658	146	147	59.4	0.26	117	68.9	56.2	31.3	12.5	0.58	2.25	7.9	.
6-20	7.22	180	57.8	33.6	19.2	0.97	33.5	20.5	54.5	34.6	10.9	0.59	2.18	7.1	.
20-35	7.32	121	56.4	25.2	10.9	1.00	21.7	14.1	51.9	35.1	13.1	0.67	2.28	8.8	.
35-70	7.51	95.8	54.4	21.6	8.29	1.09	14.7	13.6	59.6	29.2	11.2	0.54	2.05	6.3	.
70-100	7.61	76.6	45.9	17.2	7.67	0.70	9.68	16.3	61.7	29.1	9.2	0.74	1.60	6.1	.
BK105 (natural soil)															
0-10	9.07	5.71	32.8	1.74	0.08	0.09	0.26	0.44	70.2	21.3	8.6	0.29	0.57	4.0	.
10-21	8.39	3.84	29.4	1.21	0.02	0.08	0.16	0.26	46.3	41.4	12.3	0.26	0.64	6.0	.
21-62	7.63	1.35	0.90	0.08	0.05	0.38	0.12	0.36	93.0	4.2	2.8	0.11	0.49	1.8	.
62-76	6.96	60.3	12.1	5.67	6.58	6.35	17.4	1.14	41.5	41.0	17.5	0.28	1.74	9.2	.
76-110	7.61	16.7	12.9	2.77	1.85	0.91	2.60	3.28	49.9	14.1	36.0	0.16	0.84	3.8	.
KR301 (cropping field, 2nd year of upland cropping)															
0-14	8.08	21.6	14.1	3.71	2.97	1.16	2.65	4.71	5.5	50.7	43.8	0.82	2.40	11.8	.
14-30	8.13	13.9	11.0	2.39	2.11	0.68	0.88	4.69	5.1	50.8	44.1	0.55	1.93	12.1	.
30-50	8.06	18.4	15.2	3.81	3.02	0.67	0.98	6.44	0.6	50.8	48.6	0.25	1.68	10.4	.
50-70	7.99	13.0	11.9	2.57	1.99	0.67	0.76	4.52	0.1	46.3	53.6	0.24	1.73	11.5	.
70-80	8.02	11.6	11.2	2.47	1.92	0.71	0.71	4.35	0.2	40.8	59.0	0.25	1.79	10.9	.
100	7.71	8.85	9.24	1.62	1.20	0.64	0.50	3.00	52.0	20.9	27.2	0.24	0.94	7.3	.
200	7.91	10.0	9.38	1.78	1.43	0.70	0.65	3.31	2.4	66.0	31.5	0.16	1.14	8.6	.
300	7.94	14.7	13.4	2.95	2.12	0.74	0.98	4.79	1.2	60.8	38.0	0.12	1.36	8.7	.
KR55 (cropping field, 1st year of paddy)															
0-10	7.91	13.0	11.6	2.38	1.71	0.77	1.01	3.87	6.5	71.1	22.4	0.67	1.40	11.2	.
25	8.12	12.9	13.9	2.62	1.31	0.75	1.02	3.90	5.5	63.1	31.4	0.55	1.41	11.7	.
50	8.01	8.07	8.04	1.40	1.03	0.76	0.55	2.60	2.5	68.0	29.5	0.34	1.04	11.8	.
75	7.91	6.95	6.20	1.10	0.94	0.84	0.48	2.39	1.0	64.1	34.9	0.28	1.19	12.7	.
100	7.82	9.23	8.88	1.59	1.07	0.82	0.90	2.56	1.0	62.8	36.2	0.25	0.95	13.4	.
KR303 (uncultivated field adjacent to the irrigation canal)															
0-3	8.03	483	153	139	47.3	0.11	37.2	144	14.1	62.3	23.6	0.88	2.51	10.8	.
3-10	8.11	53.7	47.7	15.5	6.05	0.02	4.62	13.9	8.7	56.4	34.8	0.49	2.48	10.6	.
10-20	7.89	18.6	23.0	4.64	2.20	0.02	1.99	5.44	10.0	59.2	30.9	0.44	2.00	10.4	.
20-30	8.17	81.0	44.6	20.0	11.0	0.22	6.89	25.9	1.5	54.7	43.8	0.29	1.80	10.5	.
30-50	8.08	38.9	29.6	9.39	4.81	0.73	3.87	11.7	0.4	58.7	40.9	0.25	1.60	9.4	.
50-70	8.08	27.0	23.0	6.53	3.65	0.69	2.41	8.96	0.2	55.9	44.0	0.26	1.50	10.0	.
70-80	8.18	39.4	27.5	9.14	5.48	0.74	3.49	12.3	0.3	57.2	42.5	0.24	1.69	9.9	.
DZ15 (cropping field for cotton)															
0-10	8.15	3.05	1.56	0.19	0.33	0.57	0.15	0.67	30.1	49.6	20.3	.	.	.	.
50	7.76	5.33	4.01	0.65	0.71	0.86	0.25	1.84	45.4	42.4	12.2	.	.	.	.
100	7.79	6.27	4.50	0.76	0.91	0.80	0.39	2.14	48.1	41.7	10.3	.	.	.	.
150	7.70	5.58	3.36	0.59	0.98	0.82	0.23	2.13	43.8	45.2	10.9	.	.	.	.
200	7.71	6.42	3.73	0.70	1.30	0.78	0.20	2.55	60.0	31.9	8.1	.	.	.	.
250	7.76	9.32	6.83	1.39	1.72	0.75	0.46	3.39	59.9	31.1	8.9	.	.	.	.
300	7.72	11.5	9.28	1.99	2.09	0.63	0.76	3.63	49.4	41.6	9.0	.	.	.	.
DZ25 (cropping field for cotton)															
0-10	8.13	6.71	5.78	0.97	0.88	0.79	0.34	2.05	35.5	50.2	14.3	.	.	.	.
50	7.89	14.8	16.6	3.38	1.80	0.66	0.89	4.66	33.5	49.5	17.0	.	.	.	.
100	7.79	16.5	18.9	3.87	1.83	0.67	1.06	4.91	44.4	42.3	13.3	.	.	.	.
150	7.72	14.1	16.8	3.24	1.57	0.64	0.90	4.18	46.1	40.0	13.9	.	.	.	.
200	7.72	13.5	13.6	2.80	1.84	0.67	0.81	4.31	56.5	30.9	12.6	.	.	.	.
250	7.76	8.77	9.15	1.63	1.27	0.63	0.41	3.01	61.6	26.9	11.4	.	.	.	.
300	7.76	8.86	9.56	1.66	1.11	0.68	0.44	3.07	67.5	23.6	8.9	.	.	.	.
DZ35 (cropping field for cotton)															
0-10	8.00	38.9	26.0	7.85	4.33	1.05	6.28	6.27	34.0	48.0	17.9	.	.	.	.
50	7.74	28.1	28.9	7.80	3.63	0.67	2.61	5.87	39.7	47.5	12.8	.	.	.	.
100	7.76	26.5	26.1	6.58	3.10	0.67	2.90	5.88	40.6	45.8	13.6	.	.	.	.
150	7.40	26.1	27.2	6.32	2.41	0.73	3.31	5.87	46.0	39.6	14.4	.	.	.	.
200	7.59	20.0	22.9	4.69	1.82	0.67	2.23	4.86	46.2	39.9	14.0	.	.	.	.
250	7.59	20.5	23.9	4.84	1.75	0.70	2.38	4.76	51.1	38.3	10.7	.	.	.	.
300	7.58	20.2	23.1	4.73	1.84	0.66	2.35	4.77	46.0	38.9	16.1	.	.	.	.

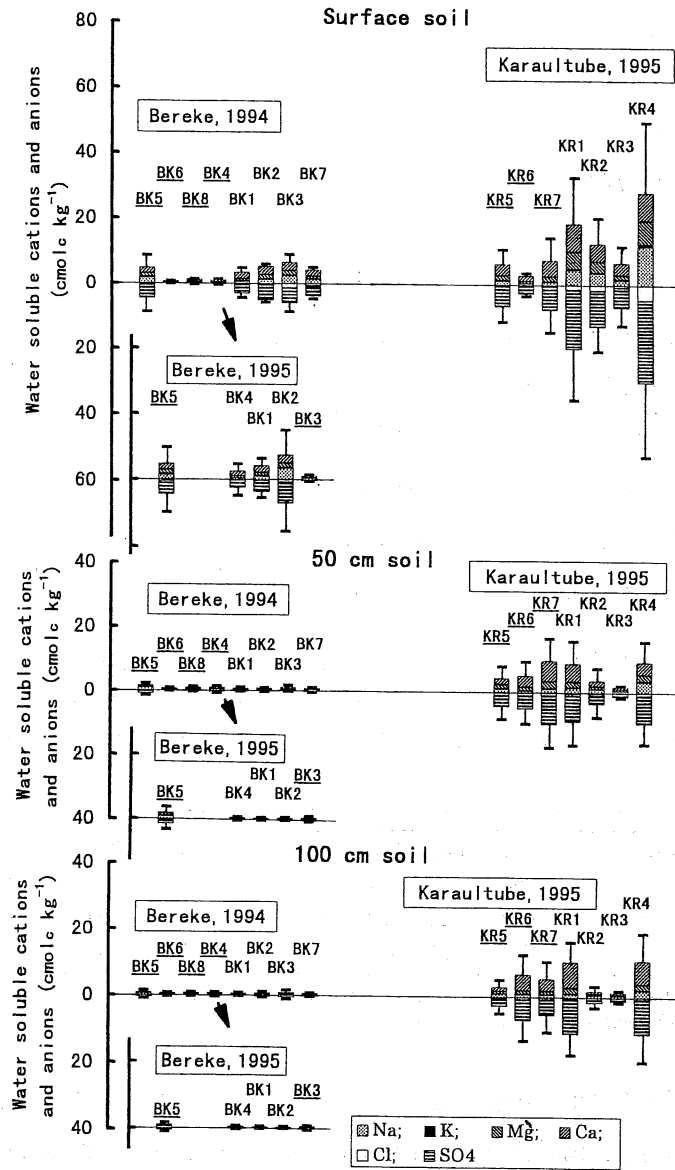


Fig. 3 Contents of soluble salts in the soils under different stages of the crop rotation systems in the BK and KR farms (The underline denotes the paddy cropping)

水稲耕作期：BK農場では、主灌漑水路に囲まれ排水条件の悪いBK5を除いては、水稲耕作期間中の集積塩量の減少が明らかであり、湛水による土壌からの塩の洗脱が有効に機能していることがわかる。一方KR農場の水田においては、BK水田と比べて多量の塩が土壌中に残存していることから、おそらく地形的要因による排水不良および水質の悪いシルダリアからの灌漑水という条件により、湛水期の除塩が満足に行われていないものとみられる。

畑作期：一方畑作期における土壌断面への塩集積程度も、BK農場と比べてKR農場では大きい。Table 2に、BK農場の輪作各ステージ圃場における表層10 cm土壌中の平均塩蓄積量を示したが、これによれば畑作期における表層土壌への塩集積は、畑地転換後一年目にCa塩を中心として約40 kmolc ha⁻¹ y⁻¹、地下水位の下がる二年目にはより可動性に富むNa塩を中心として約25 kmolc ha⁻¹ y⁻¹と急速に進むようである。しかしながらKR農場では、土壌中における塩含量と輪作システムとの関係があまりはっきりせず、むしろ地形条件による排水の良否など他の要因の影響が大きいのではないと思われる。なおBK畑作圃場では、地下水位の高い灌漑水路沿いでより土壌塩性化の程度が大きいことが報告されている³⁾。

Table 2 Average content of salts accumulated in the surface 10 cm soil in each stage of crop rotation system in the BK farm

Land use	Na	K	Mg	Ca	Cl	NO ₃	SO ₄	Sum of cations	Sum of anions
------(kmol c ha ⁻¹)-----									
paddy, 1st year	3.20	1.42	3.44	6.97	0.77	0.42	3.02	15.0	4.21
paddy, 2nd year	2.50	1.49	3.08	7.61	0.98	0.40	3.88	14.7	5.26
upland, 1st year	10.3	1.14	12.2	29.7	3.78	1.83	46.6	53.4	52.2
upland, 2nd year	29.3	1.85	16.4	32.6	10.8	2.95	61.0	80.2	74.8

All the data are calculated based on the supposition that the bulk density of the soils is 1.4 g cm⁻³
BK5 is excluded from this calculation.

土壌断面内の塩類の分布：Fig.4に、BK農場畑作耕地の土壌中の水溶性塩類、炭酸カルシウム当量、Na吸着比（Sodium adsorption ratio: SAR = Na濃度/(Mg濃度+Ca濃度)1/2 (濃度はmmol L⁻¹)；これが大きいほど溶液中で二価陽イオンに対してNaイオンが卓越していることを示す)の断面内分布を示した。畑作期間においては、土壌中の水・溶存成分の動きは深層から表層へ向かうものとみられるが、その過程は、

1) 土壌中の炭酸分圧の高い条件下での炭酸塩の溶解および土壌水・溶存成分の表層への移動, 2) 土壌次表層における炭酸分圧の減少に伴う炭酸カルシウムの沈殿と, 土壌溶液のNa吸着比の増大, 3) 土壌最表層におけるNa塩主体の水溶性塩類の集積, といった段階を経るものと考えられる。逆に表層での相対的に高いNa吸着比は, 地下水上昇形成型塩性土壌の一つの特徴ではないかと思われる。

いずれにせよ, これらの地域における水稲作中心の灌漑農業の存立は, 豊富な灌漑水の利用および耕地の良好な排水性を前提とした水稲耕作期の除塩機能に依存したものであるといえる。BK農場, それにここでは論じなかったが同じくバカナス地

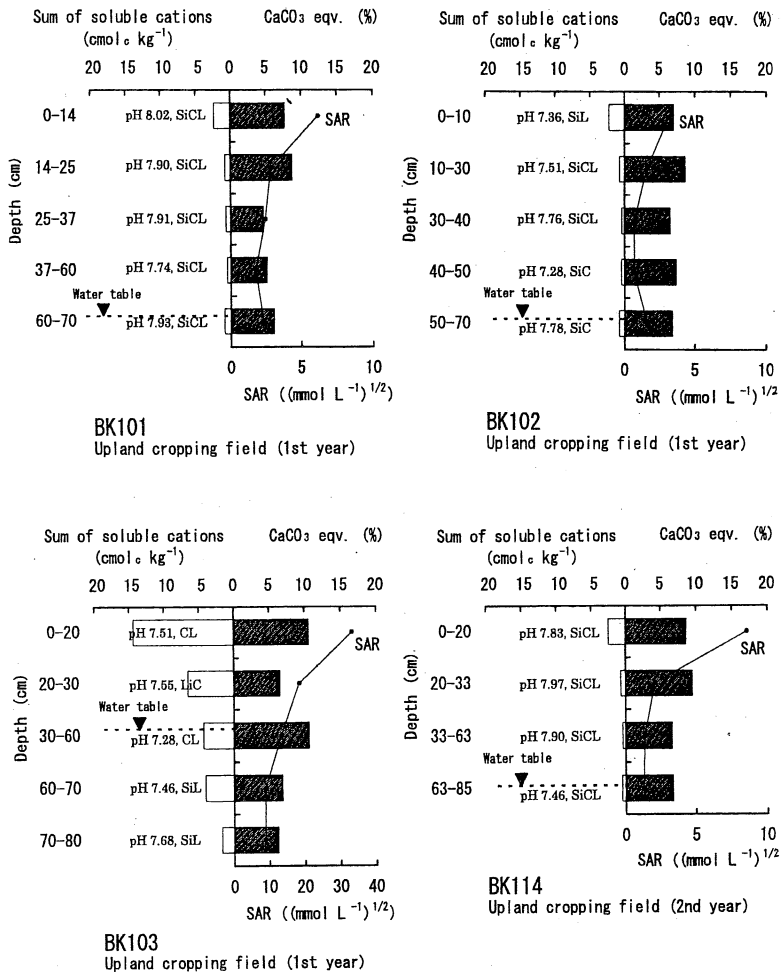


Fig. 4 Distribution patterns of water-solublesalts, CaCO₃ equivalent and SAR in the soil profiles in the upland cropping field, BK5.

方のバクバクティ農場，チムケント南部のコッスイート農場などでは，湛水期の除塩が十分行われているようである。これらの例と比べて，ここで調査したのは一農場のみであるが，排水が満足に機能しなくなりつつあるクジルオルダ地区の状況は，かなり危険なものであると思われる。

2. 3 綿花栽培圃場における塩類集積の実態

Fig.5にFG地区，SD/DZ地区，NCH地区より採取した土壤における，水溶性塩類ならびにNa吸着比の断面内分布を示す。

FG地区：シルダリア川本流近くの，盆地の相対的な低所に位置するFG3およびFG6断面では，土壤最表層で水溶性塩類含量ないしはNa吸着比が極大となるような，水稻耕作農場畑作耕地で見られた地下水上昇型の断面内水溶性塩類分布を示す。塩類含量そのものも，これら相対的な低所で大きくなる傾向がある。しかしながら，現段階では土壤塩性化の影響が深刻であるとは思われない。これは盆地全体が，緩やかながらも傾斜をもっており，排水が保証されていること，および比較的河川の上流に位置するために，良質な灌漑水を多量に利用できることなどが理由であると考えられる。

DZ/SD地区：地下水位が概して低いDZ農場では，表層土における特徴的な塩集積は見られないが，断面を通して比較的多量の塩が集積されている例がしばしば見られる（Table 1・Fig. 5）。これは前述したように，経済困難に見舞われたここ数年の排水不良を反映しているものと思われる。すなわち土壤断面からの除塩が不十分である一方，後述するように可溶性塩類含量の比較的高いシルダリア川灌漑水から，徐々にではあるが一方的に土壤断面に塩が付加された結果，このような塩集積パターンを示すようになったものと考えられる。したがって，将来の灌漑水量の増加やさらなる排水不良などによって表層土壤の塩性化が急速に進行する可能性が心配される。

NCH地区：チムケント北部のこの地域では，土壤塩性化の程度は概して小さいようである。しかしながらNa吸着比がかなり高くなっており，ここにはデータを示さなかったが，土壤pH(1:5)も9前後とかなり高めである。アルカリ性土壤が分布している可能性もあり，より詳細な調査が必要である。

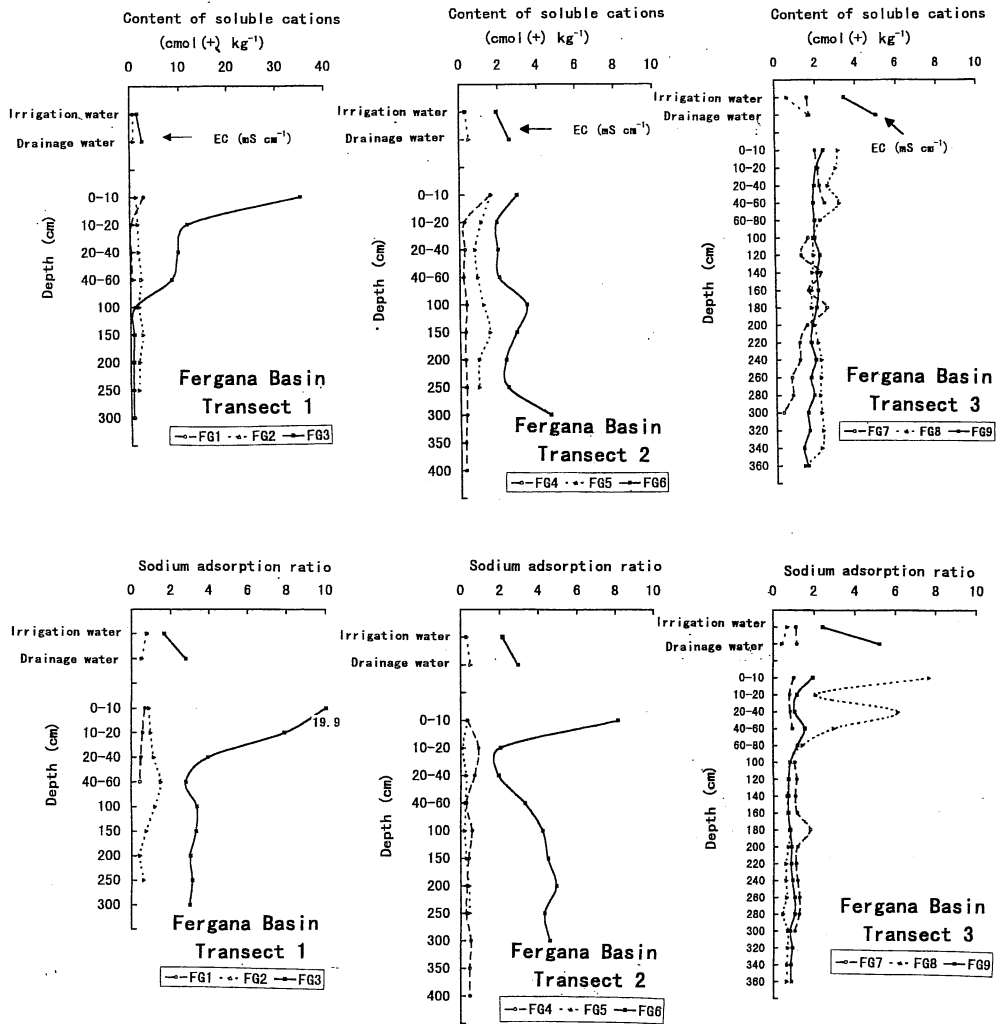


Fig. 5 (1) Content of soluble cations and sodium adsorption ratio in the soil profiles in Fergana Basin

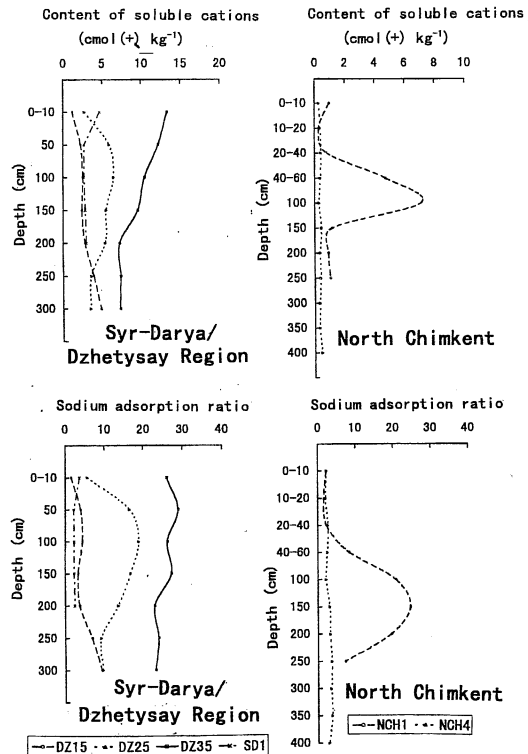


Fig. 5 (1) Content of soluble cations and sodium adsorption ratio in the soil profiles in Syrdarya/Dzhetysay and north Chimkent regions.

2. 4 灌漑水および灌漑排水の性質

灌漑水の水質については、イリ川水系の方がシルダリア川水系よりも良好である (Table 3)。ECとNa吸着比を用いた米国農務省の灌漑水の水質評価基準⁴⁾によれば、イリ川 (BK農場) やシルダリア川支流 (FG地区の一部・NCH地区) より導入された灌漑水がC2-S1クラス (塩性害中・アルカリ害弱) であるのに対して、シルダリア川本流 (FG地区・SD/DZ地区) からの灌漑水ではC3-S1 (塩性害強・アルカリ害弱) である。

BK, KR農場およびFG地区のいずれにおいても、灌漑水に対して灌漑排水でEC, SARの増加が顕著であり、灌漑水→圃場→灌漑排水の水の流れの中で、蒸発散に伴う濃縮あるいは地下水・土壌深層からのNaの移動が起こっていることが考えられる。また水稲耕作農場であるKR農場の灌漑排水のEC, SARはBK農場に比べてはるかに高く、土壌中に多量のNa塩が蓄積されていることを示している。ここからもKR農場の農業生産基盤がかなり危険な状況にあることがうかがわれる。

2. 5 大規模灌漑農業の課題と展望

ここまで見てきたように、現在、中央アジアの二大灌漑農業—水稲栽培と綿花栽培—は各々固有の問題に直面している。灌漑水の多量使用と良好な排水性の確保を前提条件とする水稲耕作では、まさに多量の灌漑水を使用してきたがゆえに地域の地下水位が上昇し、畑作期間の土壌塩性化が加速されると同時に、排水性の低下から湛水期の除塩が機能しなくなるという、KR農場のような危機的な状況が現れつつある。また湛水・除塩の行われない周辺未耕地では、継続的な土壌塩性化により極端に多量の塩が蓄積されている例が見られ (Table 1: BK113, KR303), これは農場周辺に居住する人々の生活環境の不可逆的な劣化を示すものともいえる。

一方、これまで調査を行った綿花栽培地域では、例えばフェルガナ盆地などで河川本流に近い比較的低所で地下水上昇型の土壌塩性化の兆候が見られるが、一般には作土相当深土壌の塩性化はそれほど深刻化してはいない。しかしながら、排水が不十分なシルダリア地域では、下層土に多量の塩が集積している例がしばしば見られ、今後の経済情勢の悪化あるいは耕作形態の多様化に伴う灌漑/排水システムの変化により、急速な土壌塩性化が引き起こされる可能性がある。さらに未調査のア

Table 3 Chemical composition of the irrigation and drainage water

	EC	Na	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	Sum of cations	Sum of anions	SAR	
	(mS cm ⁻¹)	----- (mmol c L ⁻¹) -----									(mmol L ⁻¹) ^{1/2}
BK farm											
Irrigation water	0.60	1.6	1.6	2.5	1.0	2.2	2.8	5.8	5.9	1.12	
Drainage water	0.85	3.2	2.4	3.4	1.4	3.5	4.2	9.1	9.2	1.89	
KR farm											
Irrigation water	1.64	5.9	5.2	4.5	2.5	11.5	2.3	15.8	16.3	2.65	
Drainage water	4.44	24.3	19.2	14.0	10.9	37.8	4.6	57.6	53.3	5.95	
Fergana basin											
Irrigation water from the small branch of R. Syr-Darya	0.32	0.3	0.8	2.2	0.1	1.4	2.0	3.4	3.4	0.27	
Irrigation water from R. Syr-Darya	1.34	4.3	4.5	5.9	2.2	9.5	2.9	14.8	14.6	1.89	
Drainage water in the main collector to R. Syr-Darya	2.89	9.4	11.3	13.2	4.6	27.3	2.7	34.4	34.5	2.70	
Syr-Darya region											
Irrigation water	1.34	3.7	4.5	5.4	1.9	8.7	2.4	13.7	13.0	1.65	
Drainage water	2.38	8.9	8.4	9.6	3.9	20.2	3.0	27.1	27.1	2.97	
Northern Chirchik											
Irrigation water	0.54	1.8	2.3	1.7	0.4	2.1	3.5	5.9	6.1	1.29	
Drainage water	1.00	4.3	3.3	3.3	0.6	5.3	4.5	10.9	10.6	2.36	

ムダリア下流地域やブハラ地区では、綿花栽培農場の土壌塩性が深刻化しているとの情報もあり、この点についてはさらなる調査が必要である。

これら沙漠の大規模灌漑農業は、地域農民によって伝統的に行われてきたというよりは、旧ソビエト連邦体制下の社会的・経済的要請によって展開されてきた側面が強いものである。これら社会・経済的条件が激変しつつある今日、この灌漑農業をどのように生態系に調和したより持続的な農業に変えていくかをもう一度考えてみるべき段階であるといえる。とりわけ今後環境保全の面から灌漑水使用の節減を求める声が強まる中で、いかに水資源を有効に利用しながら灌漑耕地の塩性を防ぐかが最重要課題であろう。対策として、1) 灌漑効率の改善、2) 排水設備の修復・完備に加えて、3) 耕地の整理・農業生産の集約化が求められる局面がくるかもしれない。

3. カザフスタン北部ステップ地帯の土壌資源と農業

本地域に分布する主要な土壌は、土壌分布の成帯性概念を基礎にした旧ソ連邦土壌分類によれば、チェルノーゼムおよびチェスナツ（カスターゼム）である。前者は肥沃な黒土として有名なものである。また主要な成帯内土壌として、ソロネツ（Na卓越型土壌）と沖積土が挙げられ、草原にスポット状に分布する森林下の土壌も興味深い性質を示す。

本地域は旧ソ連邦全体を見渡しても、主要な穀作地帯の一つである。しかしながらその栽培環境は、とくに降水量の点からは厳しいものがある。年間降水量がおおよそ300 mmで、そのうち1/3は冬季の降雪によっているという本地域では、耕作期間すなわち夏期の降水量が作物生育にとっては不十分なため、春先の融雪水を如何にうまく利用するかが農業技術上のポイントとなっているようである。具体的には、秋の収穫後に土壌を深耕し土壌構造を破壊・毛管を切断することによって土壌水の表面蒸発を抑え、春先の融雪水を土壌次表層に貯留し夏期の穀物栽培に利用するという方法が広くとられている。さらに数年に一度は、雑草生育を抑えつつ土壌水分を再び蓄える目的で、土を掘り起こした状態でひと夏休閑させる夏季休閑を行う。それ以外は、基本的には種々の麦類の連作である。この農法が土壌侵食や土壌有機物関連資源の消耗に対して、十分持続的であり得るのか否かが、本稿を通して、ま

た今後の調査・研究においても核心的なテーマとなるであろう。

3. 1 調査項目

本稿では、とくに第一次生産における土壌の資源価値に着目して、土壌の養水分保持量などの理化学性を規定する鉱物学的性質、塩類存在量（これは土壌塩性化の潜在的危険性という意味ではネガティブな特性でもある）および土壌肥沃度の担い手である土壌有機物の現存量を中心に述べる。調査土壌は、アクモラ、コクチェタウ、クスタナイ各地域に分布するサザン・チェルノーゼム各亜型土壌21点、チェルノーゼム23点、ソロネッツ・ソロンチャク等10点、褐色森林土7点である。以下これらのうち、その理化学的性質・鉱物学的性質において代表的と思われる土壌5点（SCZ1n, SNZ1n, BF2n, SCZ12n, CZ2n）について主に論じる。また比較のため、南部カザフスタン・アラタウ山脈（天山山脈の支稜）北面山麓のチェルノーゼム・チェスナツツ3点（WCZs, DCNs, LCNs）についても随時検討を行う。

これらの土壌の理化学性に関する測定項目は、飽和水抽出によるpH、ECおよび可溶性塩類含量、交換性Na含量と陽イオン交換容量（CEC）、有機炭素・全窒素および炭酸塩含量、土壌の粒度組成と粘土鉱物組成である。さらに飽和抽出液におけるNa吸着比（SAR）および土壌の分散性とNa-Caイオン交換吸着特性についても検討する。なお代表土壌断面の形態の詳細については、既報⁵⁾で報告済みである。

3. 2 土壌の鉱物性および関連する理化学性

鉱物性より見た土壌の分布状況：代表土壌断面の粒度組成をTable 4に示す。一般に南部アラタウ山麓のレス母材土壌は細砂・シルト画分に富み、粘土含量はおおむね30%以下である。一方北部の堆積物母材の土壌（SCZ1n, SNZ1n, SCZ12n, CZ2n）はより細粒質で、粘土含量は多くの場合50%を超える。また粘土画分はしばしば細粘土に富み、その主成分は後述するようにスメクタイトである。花崗岩母材のBF2nでは粗砂含量が極めて大きく、粘土画分では雲母鉱物が卓越する。本研究で調査したステップ土壌では、一般に炭酸塩がB層以深で相当量存在するが（Table 5）、ときに下層で炭酸塩を欠いているような例も見られ（CZ2nなど）、土壌母材の多様性がうかがわれる。このように土壌の粒度組成・鉱物組成は、土壌母材の違いを直接反映しているようである。

一般に現地研究者の間では、砂質な土壌の方が風食の危険性が高いと認識されている。そのような意味では、北部ステップに広く分布するスメクタイト質土壌は、比較的風食の危険性の小さな土壌であるといえるのかもしれない。

代表土壌断面 (WCZs, SCZ1n, BF2n) より採取した土壌の粘土画分のX線回折図をFig.6に示す。一般に粘土鉱物は0.7 nmカオリン鉱物, 1.0 nm雲母鉱物, 1.4 nmスメクタイトの混合物であり, 土壌間の違いはそれほど大きくはない。0.7 nmおよび1.0 nmのX線回折ピークは, いずれも半値幅が小さく鋭い形状を見せており, これらの鉱物が地上における風化産物ではなく, 鉱床で生成された結晶性の高いものであることを示唆している。Fig.6下半分にSCZ1nB層土壌より採取した細粘土および粗粘土画分のX線回折図を示したが, 細粘土は相対的にスメクタイト成分に富む一方, 粗粘土画分は雲母・カオリン鉱物により富んでいることがわかる。またここには示さなかったが, シルト画分はこれらに加えて石英・長石などの一次鉱物を多く

Table 4 Particle size distribution and mineralogical properties of the steppe soils (1)

Site and horizon	Depth (cm)	Particle size distribution				Clay mineral composition		
		Coarse sand (2mm-200 μ m) (%)	Fine sand (200-20 μ m) (%)	Silt (20-2 μ m) (%)	Clay (<2 μ m) (%)	Coarse clay (2-0.2 μ m) (%)	Fine clay (<0.2 μ m) (%)	
WCZs (Weathered Chernozem)								
A1	0-9	0.2	32.4	35.5	32.0	15.6	16.4	Mixture of mica, kaolin, and smectite.
A2	9-18	0.0	40.3	16.8	42.9	23.3	19.6	
B	18-32	0.2	31.9	36.3	31.6	15.9	15.7	
B2	32-42	0.2	43.1	31.6	25.1	14.8	10.3	
BC	42-61	0.0	44.8	31.2	24.0	13.5	10.5	
C	61-90	0.0	49.4	31.3	19.3	12.2	7.1	
	150	0.0	48.9	32.4	18.7	10.5	8.2	
	200	0.0	46.2	38.7	15.2	12.8	2.3	
	250	0.0	42.4	41.5	16.2	13.9	2.3	
	300	0.0	45.2	35.4	19.3	13.9	5.4	
	400	0.0	45.0	38.8	16.2	13.1	3.1	
	500	0.0	45.0	28.6	13.2	10.8	2.3	
LCNs (Light Chestnuts)								
A1	0-8	1.3	55.6	28.6	14.6	13.0	1.6	Mixture of mica, kaolin, and smectite.
A2	8-18	1.2	55.2	29.1	14.4	12.6	1.9	
B	18-38	1.2	50.6	26.9	21.4	15.7	5.7	
BC	38-47	0.1	59.1	28.7	12.1	10.0	2.0	
C	47-90	0.0	63.7	25.5	10.8	9.2	1.6	
	100	0.0	59.7	29.5	10.8	8.6	2.2	
	150	0.0	60.6	29.6	9.8	7.6	2.2	
	200	0.0	62.2	26.4	11.3	9.0	2.4	
	250	0.0	64.2	25.4	10.5	8.6	1.9	
	300	0.0	62.1	27.2	10.7	8.2	2.5	
	400	0.0	62.9	25.1	12.0	9.6	2.4	
	500	0.0	63.9	24.9	11.1	8.7	2.5	

含んでいる。そしてこのような土壌の各粒度成分ごとの構成鉱物は、土壌の違いを問わずほぼ共通であり、これらの土壌がそれほど長い風化の歴史（易風化一次鉱物の風化、二次鉱物の生成など）を有していないことが示唆される。以上の結果か

Table 4 Particle size distribution and mineralogical properties of the steppe soils (2)

Site and horizon	Depth (cm)	Particle size distribution					Clay mineral composition	
		Coarse sand (2mm-200µm) (%)	Fine sand (200-20µm) (%)	Silt (20-2µm) (%)	Clay (<2µm) (%)	Coarse clay (2-0.2µm) (%)	Fine clay (<0.2µm) (%)	
SCZ1n (Southern Chernozem)								
A1	0-20	0.0	24.9	25.9	49.2	27.9	21.3	Dominated by 1.4 nm smectite
A2	20-40	0.0	25.2	26.8	48.0	22.0	26.0	
AB	40-50	0.0	27.1	29.0	44.0	23.1	20.9	
B	50-75	0.0	26.1	25.8	48.1	26.1	22.0	
BC1	75-92	0.0	27.9	21.9	50.2	26.8	23.5	
BC2	92-100	0.0	29.0	22.9	48.0	27.7	20.4	
C	150	0.0	33.2	24.9	41.9	25.1	16.8	
	200	0.0	32.4	22.6	45.0	24.4	20.6	
	250	0.0	33.9	24.1	42.0	25.2	16.8	
	300	0.0	30.4	25.2	44.4	24.2	20.2	
SNZ1n (Solonetz)								
A1	0-5	14.7	34.4	22.8	28.0	17.9	10.2	Clay translocation through the profile is notable. A1: Kao, Mica A2: Kao, Mica, Vt Bh and deeper layer: Sm > Mica, Kao 300 cm: Kao dominant
A2	5-13	19.3	33.1	20.3	27.3	13.7	13.6	
Bh	13-23	12.0	19.3	14.1	54.5	16.1	38.5	
B21	23-47	14.4	21.2	22.8	41.6	25.9	15.7	
B22	47-65	16.8	18.4	21.0	43.9	25.8	18.1	
BC	65-100	9.8	21.7	21.0	47.6	24.6	23.0	
C	100	9.5	19.5	21.2	49.8	22.7	27.1	
	150	9.8	19.3	21.5	49.5	25.5	24.0	
	200	3.4	12.2	27.8	56.6	26.4	30.2	
	250	2.3	9.3	29.1	59.3	26.4	32.9	
	300	7.1	8.2	32.0	52.7	33.5	19.2	
BF2n (Brown Forest Soil)								
A	0-2	20.3	14.3	21.8	43.6	30.0	13.6	Mixture of mica, Kao, and Sm.
AB	2-10	44.8	16.3	22.9	15.9	12.7	3.2	
B1	10-25	45.6	17.1	22.8	14.5	2.0	12.5	
B2	25-40	41.7	18.1	22.4	17.9	4.9	13.0	
BC	40+	44.4	16.8	20.0	18.7	6.3	12.4	
SCZ12n (Southern Chernozem)								
A11	0-9	23.2	14.1	25.9	36.8	24.1	12.7	Unique clay mineral composition 0.7nm > 1.0nm >> 1.4nm Smectite is dominant in the B horizon.
A12	9-18	24.8	19.4	22.4	33.4	22.8	10.6	
A2	18-28	27.1	17.8	22.2	32.9	20.8	11.7	
B	28-48	26.1	11.3	13.9	48.7	24.1	24.6	
C	48-100	11.7	4.8	49.4	34.1	33.9	0.3	
CZ2n (Chernozem)								
Ap	0-10	17.6	11.9	18.7	51.8	37.5	14.3	Mixture of mica, Kao, and Sm.
A	10-20	17.3	12.9	18.0	51.9	41.5	10.4	
	20-27	21.7	10.2	18.0	50.1	35.0	15.2	
AB	27-45	15.7	15.8	21.1	47.5	42.9	4.6	
	45-60	18.2	14.9	20.3	46.6	43.0	3.6	
B	60-70	17.0	15.0	23.0	45.1	40.4	4.8	
C	100	12.3	16.2	22.8	48.7	43.5	5.2	
	120	9.6	17.6	25.0	47.8	38.1	9.8	
	150	40.0	26.0	14.6	19.3	14.0	5.3	
	170	48.4	26.8	13.5	11.3	8.7	2.6	
	200	51.1	25.9	12.3	10.7	8.7	2.0	

ら、ここで観察された土壌の粒度組成および粘土鉱物組成の違いは、以下のように直接母材の違いを反映している可能性が高い。

- 1) レス由来の土壌は、シルト・細砂画分およびその主要構成鉱物である雲母に富んでいる。
- 2) 北部ステップ第三紀・第四紀堆積物上の土壌の多くは細粒質であり、細粘土画分でスメクタイトが卓越する。
- 3) 北部ステップでしばしば地表に現れる花崗岩上の土壌はごく粗粒質であり、この地域の雲母鉱物の給源として重要である。

このように本地域における土壌資源の分布は、地質的条件によって大まかには決められてしまうのではないかと思われる。乾燥地故の風による細粒子の移動をどこまで考えなければならぬかにもよるが、今後の土地資源評価では、湿潤地域以上に地質学的知見を重視すべきであると考えられる。

土壌断面内における粘土移動：カザフスタン北部ステップにおける現地調査では、断面内で粘土の移動・集積の見られる土壌が、とくに森林下に多く観察された。Table 4に見られるように、例えばSNZ1nやSCZ12nでは、表層土における粘土含量の減少およびB層における粘土集積が明らかである。そしてこの集積粘土は、とくにスメクタイト主体の細粘土画分に富んでいる。一般に土壌は、外液の電解質濃度が低いほど、また二価陽イオンに対してNaが卓越するほど分散しやすくなるのであるが、SNZ1n粘土集積B層土壌は、より高い電解質濃度においても分散しうるといいう意味で、分散性がより高いといえる (Fig.7)。またSNZ1n, SCZ12n洗脱層 (A2層) では、炭酸塩炭素が0.1%以下程度とかなり低くなっており、Ca源の減少が顕著である (Table 5)。これらの結果から、おそらくスメクタイト質土壌が洗脱環境下で二価陽イオン (とくにCa) を失っていく過程で、分散性を増した細粘土スメクタイトが選択的に断面内を移動し、これら粘土集積層を持つ土壌が生成されたものであると考えられる。そしてこの分散性に富んだスメクタイト細粘土に富む耕地では、土壌管理の仕方によっては、堅密な耕作層の形成など土壌物理性の悪化をもたらす可能性のあることに留意する必要がある。

土壌の陽イオン交換容量 (CEC) およびイオン吸着選択特性：土壌の理化学性のうち、鉱物性に直接関連し、また営農上影響が大きいものに、CECならびにイオン

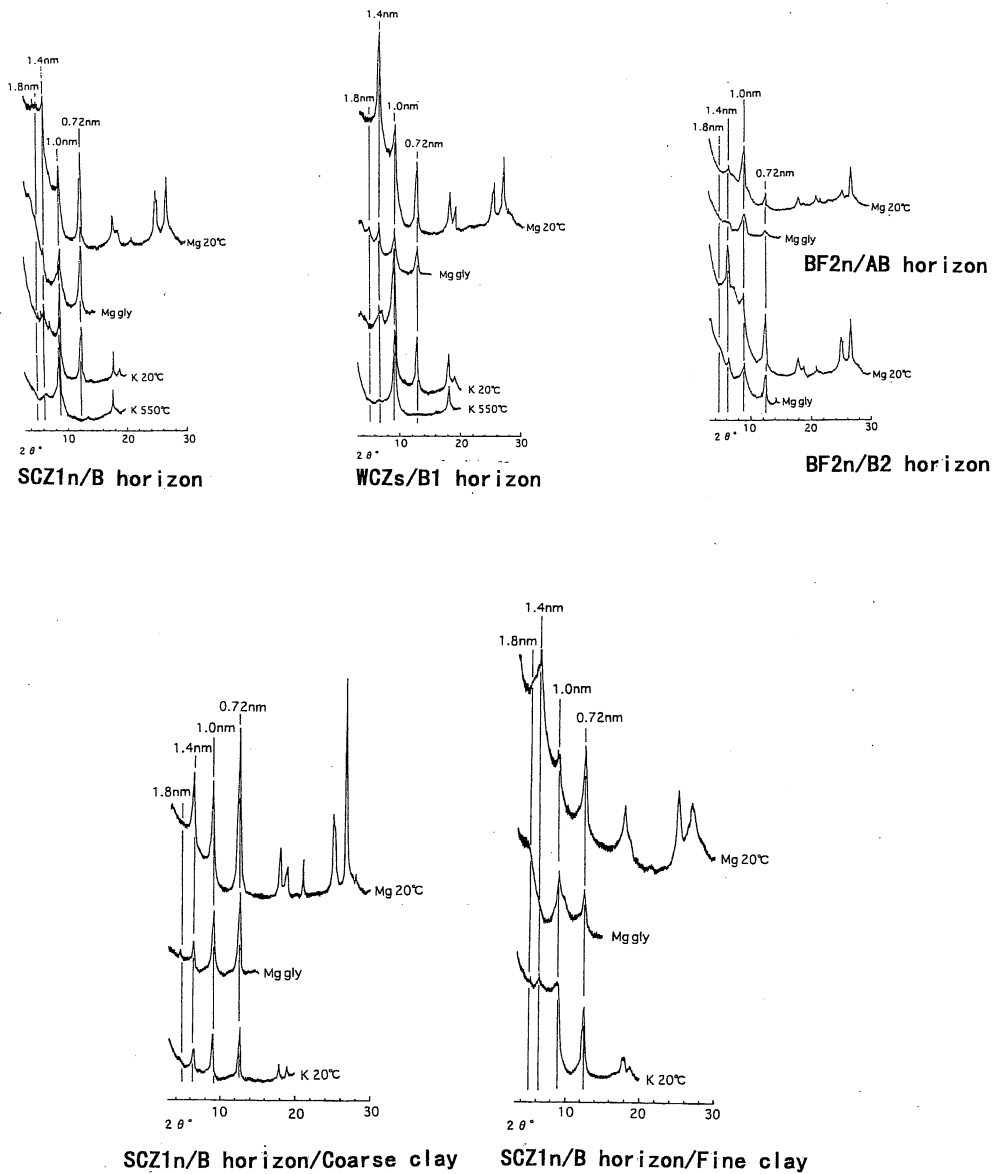


Fig. 6 X-ray (Cu-K α) diffractogram from oriented clay specimens of the representative steppe soils.

Table 5 General chemical properties of the steppe soils (1)

Site and horizon	Depth (cm)	pH(H ₂ O)	EC (mS cm ⁻¹)	Organic carbon (%)	Total nitrogen (%)	Carbonate carbon (%)	Cation exchange capacity (cmol(+) kg ⁻¹)	Water soluble Na (cmol(+) kg ⁻¹)	Exchangeable Na (cmol(+) kg ⁻¹)	Sodium adsorption ratio (mmol L ⁻¹) ^{1/2}
WCZs (Weathered Chernozem)										
A1	0-9	6.88	0.754	.	.	0.30	30.0	0.04	0.01	0.53
A2	9-18	6.70	1.05	.	.	0.27	27.2	0.01	0.04	0.13
B	18-32	6.99	0.348	.	.	0.31	26.3	0.01	0.05	0.14
B2	32-42	6.82	0.304	.	.	0.28	22.0	0.01	0.06	0.17
BC	42-61	6.87	0.178	.	.	0.22	20.7	0.01	0.06	0.20
C	61-90	7.43	0.294	.	.	2.96	10.4	0.01	0.04	0.16
	150	7.78	0.211	.	.	2.60	9.0	0.01	0.06	0.20
	200	7.82	0.254	.	.	2.49	8.5	0.02	0.06	0.27
	250	8.02	0.277	.	.	1.97	6.3	0.02	0.08	0.32
	300	8.02	0.302	.	.	1.48	8.5	0.03	0.10	0.43
	400	8.06	0.357	.	.	1.60	9.2	0.06	0.13	0.81
	500	8.09	0.344	.	.	2.01	6.8	0.11	0.17	1.83
DCNs (Dark Chestnuts)										
A1	0-8	7.72	0.320	.	.	0.29	20.9	0.01	0.02	0.09
A2	8-18	7.73	0.366	.	.	0.30	16.9	0.00	0.03	0.06
B	18-40	7.68	0.317	.	.	1.20	13.8	0.01	0.02	0.10
BC	40-60	7.66	0.244	.	.	3.14	8.8	0.01	0.03	0.17
C	60-90	7.76	0.245	.	.	2.72	8.6	0.02	0.05	0.32
	100	7.80	0.270	.	.	2.48	6.2	0.03	0.07	0.60
	150	7.92	0.247	.	.	2.25	6.4	0.03	0.07	0.49
	200	8.07	0.384	.	.	1.89	6.0	0.08	0.12	1.15
	250	7.95	1.28	.	.	1.88	5.9	0.47	0.49	4.92
	300	7.63	4.42	.	.	1.73	6.1	1.95	0.67	7.09
LCNs (Light Chestnuts)										
A1	0-8	7.68	0.834	.	.	1.59	.	0.02	.	0.22
A2	8-18	7.82	0.375	.	.	1.81	.	0.02	.	0.25
B	18-38	7.72	0.336	.	.	1.88	.	0.03	.	0.38
BC	38-47	7.82	0.280	.	.	2.30	.	0.03	.	0.51
C	47-90	7.88	0.253	.	.	2.33	.	0.04	.	0.69
	100	7.88	0.418	.	.	1.99	.	0.07	.	0.90
	150	7.89	0.382	.	.	1.87	.	0.07	.	0.92
	200	8.02	0.355	.	.	1.87	.	0.15	.	3.05
	250	8.02	0.304	.	.	1.82	.	0.11	.	2.28
	300	7.96	0.280	.	.	1.89	.	0.09	.	1.89
	400	7.99	0.339	.	.	1.98	.	0.14	.	3.12
	500	7.92	0.340	.	.	1.95	.	0.13	.	2.63

吸着特性が挙げられる。ここではとくに、北部ステップに広く分布し、この地域の農業に与える潜在的な影響が大きいとみられるスメクタイト粘土と他の鉱物の違いに着目して検討を行った。

土壌のCECは肥力力の大きさを示す指標であるが、一般にカオリン鉱物のCECが数cmolc kg⁻¹粘土以下であるのに対し、スメクタイトのCECは数十cmolc kg⁻¹粘土と大きいのが特徴である。調査土壌の中でも、粘土含量そのものが大きく、またスメクタイト粘土に富む北部ステップ堆積物由来土壌では、土壌のCECが、有機物

Table 5 General chemical properties of the steppe soils (2)

Site and horizon	Depth (cm)	pH(H ₂ O)	EC (mS cm ⁻¹)	Organic carbon (%)	Total nitrogen (%)	Carbonate carbon (%)	Cation exchange capacity (cmol(+) kg ⁻¹)	Water soluble Na (cmol(+) kg ⁻¹)	Exchangeable Na (cmol(+) kg ⁻¹)	Sodium adsorption ratio (mmol L ⁻¹) ^{1/2}
SCZ1n (Southern Chernozem)										
A1	0-20	7.97	0.552	3.16	0.30	0.66	27.8	0.01	0.06	0.14
A2	20-40	7.32	0.422	1.66	0.14	1.33	24.7	0.10	0.31	1.21
AB	40-50	7.82	0.683	1.37	0.13	1.35	23.2	0.21	1.49	4.47
B	50-75	7.88	0.946	0.97	0.10	1.61	22.8	0.46	3.95	12.5
BC1	75-92	7.58	2.66	0.09	0.02	1.44	19.5	1.74	3.93	14.8
BC2	92-100	7.33	3.26	0.08	0.02	1.18	15.4	1.91	1.98	10.0
C	150	7.28	15.0	0.00	0.02	1.29	12.8	5.71	3.35	21.2
	200	7.36	17.3	0.00	0.01	1.28	17.1	6.28	3.51	21.3
	250	7.45	14.8	0.00	0.01	1.10	19.1	6.99	2.49	22.6
	300	7.50	17.2	0.00	0.01	1.05	23.6	6.58	2.35	26.3
SNZ1n (Solonetz)										
A1	0-5	6.82	0.836	2.98	0.24	0.06	16.0	0.17	0.00	2.69
A2	5-13	6.91	1.58	1.11	0.09	0.04	11.8	0.49	0.73	8.66
Bh	13-23	7.09	14.8	1.40	0.15	0.16	27.7	4.99	4.86	22.5
B21	23-47	7.45	21.7	0.55	0.05	1.35	18.5	7.61	3.13	23.4
B22	47-65	7.43	19.3	0.40	0.03	1.86	14.3	7.10	2.69	23.8
BC	65-100	7.53	7.82	0.24	0.03	1.32	17.5	3.58	2.94	17.4
C	100	7.70	2.85	0.09	0.02	1.13	19.0	1.45	4.39	17.7
	150	7.50	12.4	0.03	0.02	1.11	20.4	4.92	4.60	27.7
	200	7.61	10.7	0.10	0.02	1.15	21.7	4.33	5.59	29.2
	250	7.69	7.99	0.00	0.01	1.28	22.0	3.25	5.72	30.2
	300	7.70	8.28	0.00	0.01	1.18	12.7	3.14	3.25	27.5
BF2n (Brown Forest Soil)										
A	0-2	5.91	0.228	.	.	0.19	29.4	0.03	0.00	0.33
AB	2-10	5.92	0.155	.	.	0.14	20.5	0.01	0.04	0.37
B1	10-25	6.14	0.087	.	.	0.07	11.8	0.01	0.03	0.42
B2	25-40	5.67	0.065	.	.	0.10	14.9	0.01	0.05	0.50
BC	40+	4.77	0.084	.	.	0.13	15.1	0.01	0.04	0.55
SCZ12n (Southern Chernozem)										
A11	0-9	6.91	0.259	8.15	0.63	0.25	34.2	0.03	0.08	0.39
A12	9-18	6.60	0.180	4.51	0.34	0.20	25.3	0.03	0.10	0.60
A2	18-28	6.71	0.143	1.43	0.10	0.10	14.6	0.03	0.08	0.62
B	28-48	6.79	0.259	0.55	0.06	0.08	22.6	0.09	0.51	2.28
C	48-100	7.21	7.82	0.16	0.02	0.39	5.8	4.39	0.00	15.0
CZ2n (Chernozem)										
Ap	0-10	7.32	0.528	2.56	0.24	0.38	30.8	0.02	0.03	0.19
A	10-20	7.62	0.645	2.61	0.23	0.34	32.0	0.02	0.04	0.20
	20-27	7.78	0.614	2.47	0.22	0.42	30.4	0.02	0.04	0.23
AB	27-45	7.81	0.496	1.40	0.15	0.94	27.6	0.02	0.07	0.32
	45-60	7.84	0.602	0.91	0.09	1.38	24.3	0.13	0.10	2.07
B	60-70	7.95	0.601	0.58	0.06	1.34	23.8	0.20	0.57	3.53
C	100	8.18	1.05	0.16	0.04	1.12	25.0	0.50	1.85	13.6
	120	8.21	1.04	0.06	0.02	1.09	25.5	0.59	2.57	18.7
	150	8.41	0.829	0.02	0.01	0.35	7.8	0.60	0.73	20.3
	170	8.41	0.553	0.02	0.00	0.12	5.2	0.38	0.43	18.3
	200	8.39	0.540	0.02	0.00	0.07	5.0	0.37	0.41	16.2

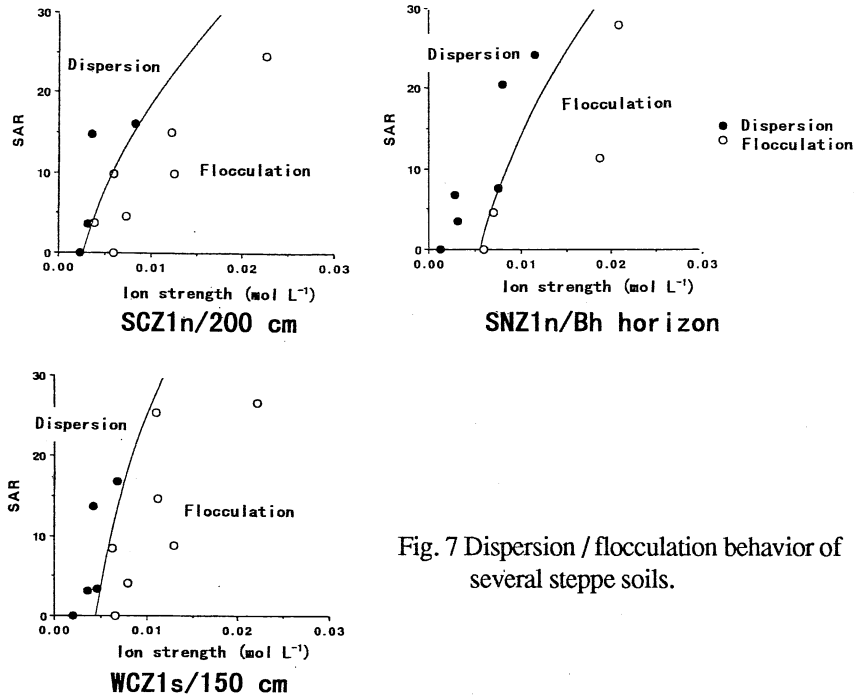


Fig. 7 Dispersion / flocculation behavior of several steppe soils.

含量の小さな下層においてもおおむね 15 cmolc kg^{-1} 以上と大きい (Table 5)。これに対して、シルト質の南部ステップ土壤やスメクタイト粘土に乏しいSCZ12n-C層やCZ2nの深層土、BF2nでは、土壤のCECは比較的小さい。すなわち土壤の保肥力という点では、北部堆積物由来土壤は肥沃な土壤ということになるが、実際には、後述するように環境中の遊離の塩類量がかなり大きな当該地域の土壤では、吸着態の交換性陽イオンが土壤の肥沃度の中で大きな役割を果たすかは疑問である。むしろ高いCECに関連して、先述したようなスメクタイト粘土の高分散性が、土壤生成過程や農業利用において重要な性質であると思われる。

次に土壤の陽イオン吸着特性について、とくにNa-Ca交換特性を検討した。一般に土壤溶液に溶存する一価陽イオン(Na)・二価陽イオン(Mg, Ca)の濃度と、これらのイオンの土壤固相への吸着量の間には、前者をNa吸着比、後者を交換性Na率 (Exchangeable sodium percentage: $\text{ESP}(\%) = \text{交換性Na含量} / \text{CEC} \times 100$) で表した場合、以下のような経験式で表されるイオン吸着平衡反応が成立する。

$$\text{ESP} / (100 - \text{ESP}) = k \times \text{SAR} + C$$

ここで係数kが大きいほど、その土壤はNa吸着選択性が高いといえる。これまで

の研究例によれば、多くの土壤でk値は0.015程度であると報告されている⁶⁾。

調査土壤についてNa-Ca吸着平衡実験を行い、上記の式のk値について求めた結果をTable 6に示す。ここに見られるように、スメクタイト粘土に富んだSCZ1n-200 cm土壤、CZ2n-120 cm土壤、SNZ1n-Bh/B21層土壤ではいずれもk値が0.02を超えるのに対し、相対的にスメクタイト含量が小さなCZ2n-150 cm土壤、WCZs-150 cm土壤、SNZ1n-A1/A2層土壤では、k値がおおむね0.015以下と低くなっている。すなわちスメクタイトが卓越した土壤は、よりNa吸着選択性が大きいといえる。この結果は、スメクタイト質土壤の分布が広い北部カザフスタンで、Na卓越型ソロネツツ土壤がしばしば出現し、また土壤断面内で分散粘土の移動・集積が多く見られる事実と符合する（一般にNa粘土は分散性が高い）。

Table 6 Coefficient, k, of the equation :
 $ESP/(100-ESP)=k \times SAR + C$,
 which expresses the cation exchange reaction including monovalent and divalent cations.

Site and horizon	Depth (cm)	k	C
SCZ1n, deep layer	200	0.026	-0.015
CZ2n, deep layer	120	0.028	0.296
	150	0.008	-0.039
WCZs, deep layer	150	0.016	-0.101
SNZ1n A1	0-5	0.011	0.050
A2	5-13	0.011	0.013
Bh	13-23	0.022	-0.456
B21	23-47	0.025	-0.103

3. 3 土壤中の塩類動態

半乾燥地では、年間降水量が土壤母材中の易溶性塩類をすべて洗脱してしまうほどには大きくないので、母材のタイプによっては、しばしば土壤中に多量の可溶性塩類が残存している例が見られ、塩性土壤（ソロンチャク、ソロネツツなど）の出現や、灌漑に伴う土壤の二次塩性化の進行など、営農上問題の生ずることが多い。この点について、土壤飽和抽出液のECやとくに高濃度で植物に対し害作用が大きい可溶性Na含量、および抽出液のNa吸着比など、Table 5, Fig.8のデータに基づいて検討する。また森林土壤やアルカリ土壤の生成条件についても併せて検討する。

土壤塩性化の危険性：土壤飽和抽出液のEC、可溶性Na含量、そして抽出液のNa吸着比のいずれについても、北部ステップの堆積物母材の土壤では他と比べて高くなっている。とくにアクモラ周辺のSCZ1n, SNZ1n下層には多量のNa塩が存在する。これはもともと水成堆積物中に多量に含まれていたものが、350 mmという低い

降水量のため洗脱されずに下層に集積・残留しているためであろう。この下層のNa塩は、地下水位の変動などにより土壤塩性化をもたらしうる、潜在的な脅威と考えられる。実際この地域ではスポット状にソロンチャクと呼ばれる塩性土壤が点在する。またNa化の危険性という点では、これらの土壤の多くがスメクタイト質土壤であることも問題の一つである。前項で論じたように、スメクタイトが卓越する土壤（SCZ1n-200cm, CZ2n-120cm, SNZ1n-Bh/B21層）では、他と比べてNa選択性が高くなっている（Table 6）。これは同程度のSARを持つ土壤溶液環境中でもより多くのNaが土壤コロイドに吸着されることを意味しており、Na集積/洗脱の繰り返しによるNa卓越型アルカリ性土壤の生成や、高分散性粘土による堅密層の形成など土壤の

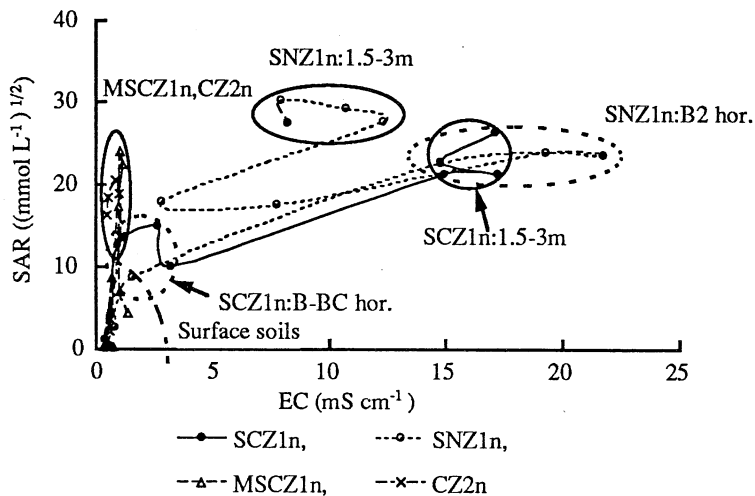


Fig 8 Relationship between EC and SAR of the saturation extract of the soils from northern steppe

物理性悪化のおそれがあることを示している。

一方、北部ステップに点在する森林土壤や、南部ステップの土壤では、北部ステップ土壤と比べて、可溶性塩類含量が非常に小さい。低い陽イオン交換容量と相まって、たとえ半乾燥気候下といえども、これらの土壤（とくに表層土）でK, Caなどの養分元素が不足することがあるのか、より詳細な検討が必要であろう。

アルカリ性土壤：Table 5および土壤の飽和抽出液組成の特徴を示したFig.9によれば、ステップ土壤B層～深層土壤には、しばしばpHが8を超えるアルカリ性を示

す例が見られる。そのイオン組成は、高いNa吸着比（SAR）と、イオン当量で二価陽イオンを上回る炭酸および重炭酸イオンの存在によって示される、 NaHCO_3 、 Na_2CO_3 塩の特徴が強く出たものとなっている。しかしながらこれらの土壤抽出液のイオン強度が0.05M以下と低いことから、この相対的にNa塩に富んだ性質は、人為活動による二次的塩性化（地下水あるいは灌漑水による塩類の付加）によってもたらされたものではなく、土壤母材堆積時のイオン環境（Na塩の卓越）に起因するものではないかと思われる。

自然のアルカリ性土壤がそのまま地表に出てくることはないと思われるが、このことと関連して営農上注意すべきであると思われるのは、Na塩の卓越したソロンチャク土壤あるいは二次塩性化土壤を灌漑・水洗して利用する際、当初の塩組成によっては（すなわち $(\text{Mg}+\text{Ca})-(\text{HCO}_3+\text{CO}_3)<0$ の場合）、二価陽イオン（石膏など）の積極的施用を行わなければ、土壤がアルカリ性化する危険があるということだろう。

酸性森林土壤：一方森林下の土壤はしばしばpH6以下の酸性を示し、かつ飽和抽出液のイオン強度は0.05 M以下と低いことから、かなり洗脱的な条件でこれらの土壤が生成されたのではないかと考えられる（Fig 9-2）。そして森林土壤には断面内で粘土の移動・集積の見られる土壤が多いことから、先に推論したスメクタイト粘土の断面内移動の過程がここにもあてはまるのではないかと思われる。

現地の土地利用体系では、おそらく森林の資源価値も考慮されて、基本的には森林を拓かずにおいておく方針であるように見受けられた。実際あえて森林を開拓しても、これらの土壤が酸性を示すこと、チェルノーゼム特有の有機物に富んだ黒色層が薄いこと（褐色系の森林土壤表層の形成）などから、チェルノーゼムと同等の作物生産は見込めないであろう。これら森林の利用については、今後も保全する方向で考えていくべきであると思われる。

3. 4 土壤の有機物蓄積量

一般に土壤有機物は、土壤の良好な保水性や透水性を確保するといった物理性の観点から、あるいはその構成成分および交換性陽イオン成分として養分元素を多量に保持するという化学性の面から、土壤肥沃度に直接関与する重要な因子であると

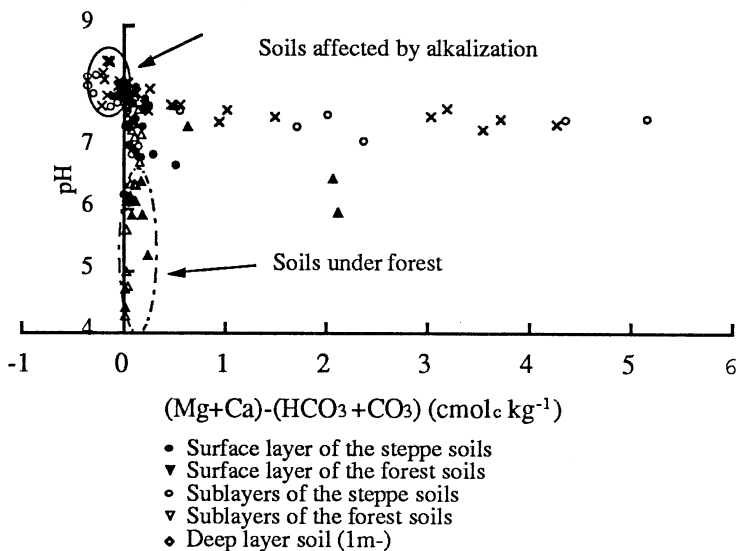


Fig 9(1) Chemical composition and pH of the soil extract

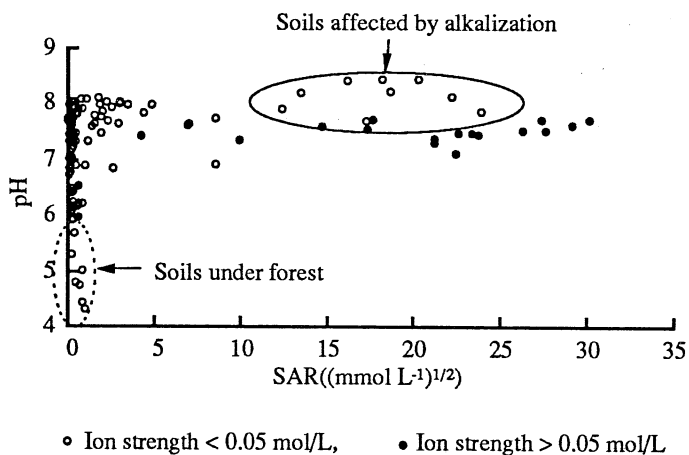


Fig 9(2) Chemical composition and pH of the soil extract

考えられている。北部ステップの表層土壌の仮比重が多くなる場合 1.3 g cm^{-3} を超えるような大きいものであることを考えると、土壌有機物の関わる土壌の性質の中でも、とくに土壌構造の形成を通じた良好な物理性の確保の意義が大きいように思われる。そして他の肥沃度因子、例えば粘土鉱物の活性の高さや土壌の無機養分元素含量などには恵まれている本地域土壌においては、この土壌有機物に関連した諸性質が、もっともその動態に注意すべき土壌肥沃度因子であるといえよう。そこで、Fig.10に調査土壌表層30 cmにおける有機炭素および全窒素のヘクタールあたりの蓄積量を、土壌型・土地利用形態別にプロットし、比較を試みた。本地域土壌に多く見られるような、表層土の有機物含量が炭素として3%に達するような土壌は、一般的な畑作地としてはかなり肥沃な部類に入るといってよい。

Fig.10に見られるように、耕地土壌を比較してみた場合、サザン・チェルノーゼムよりチェルノーゼムで有機物蓄積量が大きく、またサザン・チェルノーゼムの成帯内では、ソロネッツや弱発達性サザン・チェルノーゼムにおいて有機物蓄積量が小さい。これらはほぼ常識的な結果であるといえようが、問題はたとえばサザン・チェルノーゼムやソロネッツで見られるように、耕地表層土壌中の有機物蓄積量が自然草地土壌に比べ減少

傾向にある事実であろう。これにはもちろん風食の影響もあろうが、ここではむしろ、本地域で行われているような穀類連作の収奪型農業では有機物の分解に伴う土壌肥沃度の低下が避けられないことを示しているのではないかとと思われる。そして

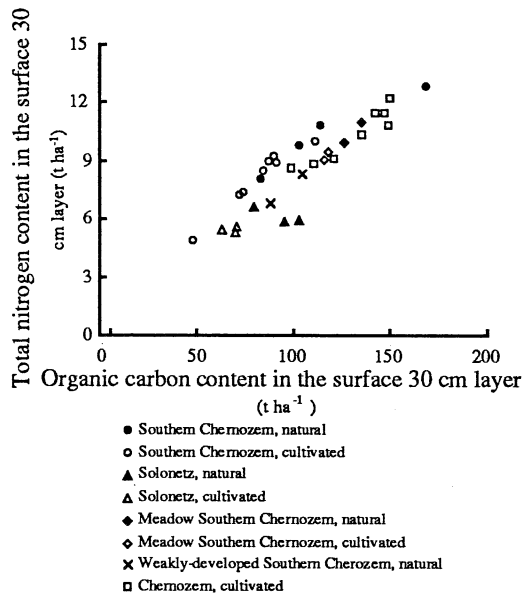


Fig 10 Contents of organic carbon and nitrogen in the surface 30 cm in the steppe soils

この有機物減少分がすべてこの50年間の耕作に伴う有機物分解によるものと仮定すると、1年間に無機化・放出された窒素量は $25\sim 50\text{ kg N ha}^{-1}$ にも及んだことになり、これまでの当地における農業生産のかなりの部分が地力窒素の放出に依存していたであろうことが推測される。

一見肥沃に見えるステップ土壤は、かなり乾燥し、かつ冷涼な気候下で、おそらく生物生産速度・分解速度ないしは生態系の地上部バイオマス保持量のいずれもが小さい条件のもとで長時間をかけて形成されてきたものといえる。循環速度が小さい分だけその劣化速度は緩慢ではあるが、一旦自然生態系が改変され、耕起・穀類の連作に伴う風食や有機物分解の加速などにより肥沃な表土が失われてしまえば、土地生産性の回復にはきわめて長時間を要するであろうことが予想される。Fig.10に見られるような表層土壤における有機物蓄積量の減少は、この土地資源の半ば不可逆的な劣化を示す赤信号だといえる。

3. 5 カザフスタン北部穀作地帯に分布する土壤の特性および農業の課題

カザフスタン共和国ステップ地域の土壤の分布状況は、表層地質と併せて以下のようにまとめられる。

- 1) レス由来のシルト・細砂画分は雲母に富んでいる。
- 2) 北部ステップの第三紀・第四紀堆積物では細粒質画分でスメクタイトが卓越する。
- 3) 北部ステップでしばしば地表に現れる花崗岩は、雲母鉱物の給源として重要である。

なお北部ステップで分布が広い上記2)の型の土壤は、粘土あたりのCECが高く、またNa選択性も高い。さらに下層土壤の可溶性塩類含量、とくにNa塩の含量が、他の土壤と比べて非常に大きい。すなわちこの土壤が、潜在的により塩性化(Na化)の影響を受けやすく、管理の仕方によっては堅密層の形成など物理性の悪化が危惧される要注意土壤であることを示している。

一方、活性の高いスメクタイト粘土と、比較的多量の無機養分元素に恵まれた本地域土壤においては、土壤有機物に関連した諸性質が、もっともその動態に注意すべき土壤肥沃度因子といえる。その土壤有機物の蓄積量が、耕地の表層土壤では、

自然土壌と比べ減少傾向にあった。これは、広く言われているような風食の影響もあろうが、むしろ本地域で行われているような穀類連作型の収奪型農業では、有機物の分解に伴う土壌肥沃度の低下が避けられないことを示しているものと思われる。したがって、この肥沃な土壌資源を持続的に利用するためには、少なくとも実質的な休閑（雑草の生育を許さない従来の夏季休閑ではなく）あるいは耕地への有機物の還元を通して、土壌肥沃度を維持・改良してゆく努力が必要である。穀類一辺倒の大規模栽培ではなく、他の商品作物の小規模栽培と並立させてゆくなど土地利用のメリハリをつけた上で、穀類栽培農地の負荷を減じてゆくのも一法であろう。ただし小面積の集約的利用のため灌漑を導入した場合、とくにアクモラ周辺では土壌の二次塩性化や物理性の悪化に十分注意を払う必要がある。

4. おわりに

中央アジア諸国の第一次産業が抱える問題点ならびに今後の展望

中央アジア諸国、とくに本研究で重点的に調査を行ってきたカザフスタン共和国の第一次産業が抱える問題点は、その自然環境による制限や農業技術が抱える困難さといった、主として自然科学的側面と、これら第一次産業が旧ソ連邦という独特の統制経済のもとで成立し、今この経済体制が崩壊したという主に社会・経済的側面に大別することができよう。この区分はもちろん厳密なものではないが、問題点の所在を把握するために有用なアプローチではあろう。

4. 1 農業の技術的課題

本地域における農業の発展の上で障害となってきたのは、いうまでもなく沙漠地帯で100 mm以下、北部ステップでも350 mm以下という降水量の少なさである。そしてこれに対応し穀物生産を上げるために、前者では河川水を利用した大規模灌漑農業が導入され、また後者では専門分化した大型機械を用いた独特の耕起法などを発達させ、いずれも生産物収量をできるだけ大きくするという意味では、一つの完成した域に達したものといえる。

しかしながら翻って考えてみれば、たとえば北部カザフスタンに広く分布するチュルノーゼムという肥沃な土壌を育ててきたのも、この冷涼・少雨の気候条件で

ある。耕起法の工夫により、十分な水分条件を確保した上で、例えば土壌有機物の分解を促進し地力窒素の放出を促すというような農法は、必然的に自然生態系の物質循環にはあり得ない収奪的な側面をもっている。したがって、現時点で収量減というかたちで問題が顕在化しているかどうかには議論の余地があるものの、長期的には土地生産性の低下は免れないのではないだろうか。本地域農業に欠けていたのは、短期的な収量増をもたらすための技術としての夏季休閑があっても、長期的な地力保全を目的とした本来の意味での休閑地管理法が開発されなかった点であろう。例えば冷涼で乾燥した気候条件がマメ科植物に適さないというような限界はあろうが、この地力回復のための休閑という視点は、もっと強調されてよいと思われる。

一方、中央アジア南部沙漠地域で大々的に展開されてきた大規模灌漑農業は、地域の水循環・塩類分布を劇的に変化させ、今日ではアラル海消滅の危機や灌漑耕地土壌の塩性化の進行という大きな犠牲を求められている。そもそも沙漠で灌漑農業を行うという行為が、どの程度の規模・範囲で可能なのか、詳細な議論が先に立つべきであると思われるが、不幸なことに旧ソ連邦の政策にリードされこの点が明確にされないまま、あるいは意図的に隠されて、今日に至ったものといえる。先にもふれたが、現場での対症療法的対策としては、灌漑水路の整備、排水網の整備などが挙げられるが、本質的にはどの程度まで地域環境の改変を許すか、といった点に関する関係諸国のコンセンサスが重要となってくるであろう。いうまでもなくアムダリア川、シルダリア川、イリ川のいずれもが国際河川であり、上流諸国と下流域諸国では利害が一致しないケースがしばしばある。

4. 2 旧ソ連邦解体による社会・経済的影響

本地域の農業・畜産業など第一次産業は、旧ソ連邦体制の政策として、ロシア人の入植やカザフ人の定住化と併せて、推進されてきた側面があると思われる。また経済的には、肥料・農薬や農業機械、それに燃料などを旧ソ連邦内の他地域より輸入し、生産された穀物などをまた旧ソ連邦諸国に売るといって、域内における潤滑な役割分担・流通機構を前提として成り立っていたものである。ソ連邦が解体した今日、これらの政治・社会的理由や経済的結びつきも同様に失われている。また、自

由化に伴い肥料や農業機械類、燃料などの投資材と、生産物の価格のバランスが急速に崩れてきており、当該地域の第1次生産を取りまく経済状況はきわめて悪化している。

本地域農業はその技術的到達点が高い反面、各農作業が高度に分化した農業機械や一元的に管理された大規模な灌漑・排水システムに依存しているという特徴もっている。旧ソ連邦解体によって農業資材や機械類の供給が途絶えた今日、これまでの生産水準を維持することはおろか、生産を順次縮小してゆくということも困難な情勢にあり、灌漑・排水設備や農業機械類の老朽化とともに速やかに生産不能となる危険を秘めている。

農業機械が入ってこないならば、これを買えばよいという議論もあると思われる。しかしながら、生産した穀類や肉類・乳製品が流通にのらない、売れないという事態が深刻となっている。これは、旧ソ連邦体制下で政府が生産物を一括して買い上げていた関係が、市場経済の導入とともに急速に崩れてきたためだと思われる。そして、本地域の農業・畜産業では、これら経済的困難さとともに、自由化という夢に誘われて、地道に第一次生産活動を続けていくモチベーションが失われつつあるのも大きな問題であろう。

4. 3 今後の展望

今日当該地域の農業が抱える問題を2点に分けて論じたが、その解決の緊急性・優先度からいえば、まず経済的困難の克服であろう。これに対して生産現場からできることは、実際には少ない。ただ現状に基づいて我々旧西側市民の側の反省を込めて言えば、例えば旧ソ連邦解体前後から、西側諸国では早急な自由経済化を支持したり、促したりする論調が目立っていたが、これは本地域の生産現場の実情には必ずしも合わなかったのではないかということができる。本地域の第一次生産は、例えば現地では生産できないような大型機械への依存などに典型的に見られるように、旧ソ連邦体制の統制経済あるいは地域の役割分担の上に成り立ってきたものである。これを性急に自由化（解体）することは、強い相互依存を持つ各生産現場から、生産基盤そのものを奪うことになりかねない。少なくとも今後は、いきなり世界市場への参入を促すよりも、旧ソ連圏周辺で緩い形の経済的紐帯を保たせなが

ら、例えばこれまで到達した農業技術の遺産を引き継ぐことのできる状況を準備することが、世界規模から見た本地域の農業の重要性から見ても適当なのではなからうか。

本地域の、とくに社会・経済的状況の困難を乗り越えることができ初めて、我々が本研究で主として行った自然科学的議論が活かされうる局面に入ると思われる。その際、とくに重視されるべきは、やはり何百年にもわたって生態系を持続的に利用できる技術の確立という点であろう。繰り返しになるが、大規模灌漑農業では地域環境の保全との両立が、ステップ農業ではその収奪的な側面の解消が、今後の当該地域における農業発展のポイントとなると思われる。

引用文献

- 1) Razanov, B.G.: Principles of the doctrine on the environment. pp.273, IGU, Moscow 1984
- 2) Khakimov, F.I.: Soil Melioration conditions of desertification of deltas. pp.218, 1989
- 3) Kosaki, T, Tsujimura, S, and Ishida, N.: Where and how does salinization take place under large-scale irrigation agriculture in Central Asia? A case study in Kazakhstan. In Proceedings of the International Workshop on Classification and Management of Arid-Desert Soils, p.35-40, China Science and Technology Press, Beijing, 1993
- 4) U.S. Dep. Agr.: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. Agri. Handbook 60, P.460, 1953
- 5) 舟川晋也, 広岡青央, Yevstifeev, Y.G., Iskakov, A., Karbozova, E., 小崎隆 : カザフスタン共和国ステップ地帯に分布する土壌の性質, 中央アジア乾燥地における大規模灌漑農業の生態環境と社会経済に与える影響—1995年調査報告—, 日本カザフ研究会, p.101-120, 1996
- 6) Bolt, G.H. and Bruggenwert, M.G.M. : Soil Chemistry. A. Basic Element. 2nd Eddition. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1978

Soils and agriculture in the arid and semiarid regions in Central Asia

Shinya Funakawa*, Takashi Kosaki**, Reiji Suzuki**, Kiyoo Hirooka*,
Shinjiro Kanaya**, and Elmira Karbozova**

*Kyoto Prefectural University and **Kyoto University

Under the former Soviet Union, two kinds of large-scale, modern agriculture had been developed in the Central Asia, that is, the irrigation agriculture along R. Syr-Darya, R. Amu-Darya, and R. Ili in the arid region and grain production on Chernozem in the semiarid steppe region of northern Kazakhstan. Nowadays, several difficulties relating to land degradation and/or environmental problems have arisen in the area. The main objective of this study is to collect basic information about present situation of these agriculture in terms of soil degradation by human activities.

1. Soil salinization under the large-scale irrigation agriculture in the arid region.

The development of large-scale irrigation agriculture in the arid region, which was initiated in 1960s, has caused soil salinization in/around irrigated farms. In order to clarify salt dynamics in the irrigation agriculture, the authors investigated distribution pattern of salt-affected soils in/around rice-based and cotton-based cropping fields along R. Ili and R. Syr-Darya in southern Kazakhstan and Uzbekistan. The rice-based irrigation system had both the paddy and upland cropping phases in its crop rotation system, while the cotton-based system was a continuous upland cropping.

In the cropping fields under the rice-based rotation system, the salt accumulation was observed at the upper most horizon of the soil profiles during the upland cropping phase, indicating that a continuously-high water table under this intensive irrigation practice enhanced an upward movement of water with high concentrations of salts. On the other hand, a clear decrease in the contents of soluble salts in the period of rice cultivation showed that water-logging in this stage was effective to wash out salts accumulated during the upland phase. The degree of salt accumulation in Kzylorda region was, however, quite high compared to the other areas, presumably because of an incomplete drainage in the

paddy cropping phase. It was considered that the rice-based irrigation agriculture was sustainable under an enough supply of irrigation water and an appropriate drainage system and, hence, the present situation in Kzylorda region seemed to be quite serious.

On the other hand, a cotton-based irrigation agriculture in the Fergana Basin in Uzbekistan, which was located in the upper part of R. Syr-Darya, seemed to have few problems in terms of soil salinization. The drainage condition in the area was generally comfortable. The farms in the Syr-Darya region in Uzbekistan and in Dzhetisay in Kazakhstan was, however, partly affected by soil salinization due to an incomplete drainage caused by a serious economic situation in recent years. Since some researchers mentioned a quite bad situation in the cotton-cropping farms in the lower part of R. Amu-Darya, further study and information is needed to elucidate the sustainability of this type of irrigation agriculture.

As for the quality of irrigation water, both EC and SAR were higher in the R. Syr-Darya watershed than in the R. Ili watershed, suggesting a relatively risky situation in the former in terms of potentiality in soil salinization by addition of salts from irrigation water.

2. Soil resources in the semiarid steppe region in Kazakhstan.

Since the land degradation due to winderosion and/or excessive decomposition of soil organic matter have often been reported in the area, physicochemical and mineralogical properties of the soils were investigated in this study to obtain basic information for appropriate management of land resources. Soil samples were collected from Transili Alatau hillslopes in southern Kazakhstan and Akmola and Kokchetau region in northern steppe of Kazakhstan.

Soils from Alatau region were highly affected by aeolian deposits, so-called loess, and hence, showed medium to coarse soil texture with high amount of clay mica minerals. In contrast, soils from the northern steppe, which is largely covered by tertiary or quaternary sediments, were generally rich in clay particles with smectite minerals. Some soils in the north, which were sporadically developed on scattered hills derived from granite or metamorphic rocks, however, were coarse-textured with a fairly large amount of mica minerals. Compared to soils under humid climates, the soils of the studied area with dry climates were less weathered and their characteristics were more related to the nature of original rocks and/or parent materials.

Soils in the northern steppe, particularly in Akmola region, were enriched with soluble salts, presumably gypsum and/or sodium salts, which were scarcely observed in Alatau region. Therefore, the possibility of secondary soil salinization should be born in mind when introducing irrigation agriculture in Akmola region.

Soil organic matter contents usually exceeded 6%, suggesting high soil fertility.

Winderosion was observed only in the limited sites. However, organic matter contents in the surface 30 cm soils were noticeably lower in cropland than in virgin land, indicating that continuous grain production brought quick soil deterioration through the decomposition of soil organic matter for the past three to four decades. This may not cause an apparent reduction in grain yield at this moment because of high inherent soil fertility, but such a high rate of organic matter decomposition would pose some adverse effects on grain production in the near future. To mitigate soil degradation and to improve soil fertility, organic matter should be constantly applied into the cropland to maintain soil productivity.

3. Towards further development of agricultural production in Central Asia.

Today, Kazakhstan and the surrounding countries are facing economic disorder. This largely affects agricultural production systems. Shortages of various agricultural materials including fuels, chemicals, and machinery are causing a decrease in crop productivity as well as the quality of the agricultural environment. Although the agricultural technologies and cropping systems now available in the area has been contributing a lot to increasing agricultural production for the past 40 to 50 years, a symptom of deterioration in soil productivity starts to appear. Main directions for the agricultural development future are a well-balanced development of irrigation agriculture in terms of crop production and regional environment in the arid zone and soil conservation in the semiarid steppe region.

JRAK調査報告書 No-5

中央アジア乾燥地における
大規模灌漑農業の
生態環境と社会経済に与える影響
-1996年調査報告-

1997年7月

日本カザフ研究会