

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 7 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20405004

研究課題名（和文） 中央アジアの乾燥地での大規模灌漑農業による環境汚染の拡大と生態系への影響

研究課題名（英文） Impact of environmental pollution and ecological expansion of large-scale irrigation in the arid land of Central Asia

研究代表者

川端 良子 (KAWABATA YOSHIKO)

東京農工大学・国際センター・准教授

研究者番号：40334479

研究成果の概要（和文）：中央アジア・ウズベキスタン共和国内のヌクスを中心としたアムダリア流域にて、大規模灌漑農業による環境汚染と生態系への影響について以下の調査を行った。

1) 飲料水である地下水の調査を行った。2) 灌漑用水、灌漑排水、および河川水を採取し、灌漑農業による河川水への影響を調査した。3) ヌクス近郊の農村で、人体への影響に関しての聞き取り調査を行った。4) 河川水と地下水を毎月試料採取し、月変動を調査した。

その結果、地下水の元素濃度の方が、河川水より高い濃度であった。さらに、冬場に、特に、地下水の硝酸イオン濃度が高くなっていることが明らかとなった。また、ヌクスの郊外の農村で、縞状の歯を持つ子供たちが多くみられ過去に何らかのエナメル質を溶かすような有毒な物質が、井戸水に含まれていた可能性が高いことがわかった。そこで、月変動を明らかにすることと、一時的な汚染であれば、どのような時期に汚染されているかを調べるために、毎月この村で地下水の試料を採取することにした。その結果、地下水の元素濃度の方が、河川水より高い濃度であった。さらに、冬場に、特に、地下水の硝酸イオン濃度が高くなっていることが明らかとなったしかし、濃度変化は、年度によって差があり、さらに詳しく調べる必要があることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：We were investigated following the effects of environmental pollution caused by agriculture and ecosystems to large-scale irrigation at Amu-Darya river basin in Uzbekistan, 1) Central Asia. It was researched of drinking water. 2) We collected Irrigation water and drainage water, and river water. There were investigated the effects of them by irrigated agriculture. 3) In the Nukus region, we were interviewed about the impact of the human body. 4) We collected water samples from river and groundwater one time of every month.

As a result, all ions concentrations of groundwater were higher than river water. In addition, in winter time, especially, nitrate concentration in groundwater is high than other seasons. Toxic substances which were dissolved the enamel of teeth in children were observed in rural areas of Nukus district. Toxic substances may be, included in the well water. However, the changes of ion concentrations were different on every year. There is a need to examine in more detail was revealed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：放射線・化学物質影響科学

キーワード：中央アジア、ウラン汚染、大規模灌漑農業、食物連鎖、重金属汚染、ウズベキスタン、カザフスタン、キルギス

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 中央アジアでは、数カ国にまたがって流れているシルダリア、アムダリアの2つの国際河川の河川水を用いて乾燥地で大規模灌漑農業を行っている。その結果、2つの川から流入のなくなった世界第4番目の湖、アラル海は、急速に縮小し、50年間で半分になり、世界的な環境問題として知られるようになった。

(2) この灌漑水に含まれるウランにより、飲料水としても使用されている地下水の汚染が進行していることが、これまでの我々の研究で明らかとなった。特に、カザフスタンの砂漠地帯の浅層地下水で、WHOのウラン濃度基準値を大きく上回っていた。また、ウズベキスタンの大規模灌漑農地の浅層地下水でも、WHOの基準値を上回っていた。そして、この原因のひとつとして、ウランを含むリン灰石をリン肥料の原料であることを明らかにした。

(3) これまでの我々の研究から、浅層地下水や灌漑水に、ニッケルや鉄、鉛、亜鉛、マンガンなどの重金属類の濃度が高い地域があることがわかった。これらの汚染源は、全く明らかとなっていない。しかし、灌漑水による中央アジア全域への汚染拡大し、さらに、農作物から、人体を始めとする生態系に悪影響を与える可能性が非常に高い。しかし、中央アジアの乾燥地域における、農地による重金属の汚染拡大についての研究報告は、非常に少なく、リン肥料以外にどのような汚染経路を経てきたのか明らかとなっていない。

(4) 中央アジアでの、重金属および放射性核種の大規模灌漑農業による汚染拡散のメカニズムを解明することは、生態系に与える影響を考える上で非常に重要である。

(5) これまで問題とされていた中央アジアでの乳幼児死亡率の高さや成人の貧血などの健康被害の問題を明らかにする上でも重要な研究である。さらに、中近東やアフリカなどの乾燥地農業も、この地域とよく似ており、一地域にとどまらない国際的な問題であるといえる。

## 2. 研究の目的

世界の多くの乾燥地域の灌漑農地で、毛細管現象による塩害を防ぐために表層より5mぐらい深く灌漑排水は掘られている。しかし、多くはコンクリートによる表面加工されていない水路である。そのため図のように、イオン濃度の高い灌漑排水は、表層地下水と混合する。一方、これらの地域では、主に地下水、なかでも、表層地下水を飲料水として用いるところが多い。また、世界の援助団体も途上国の乾燥地で、飲料水をはじめとする生活用水確保のため表層地下水を水源とする井戸を掘っている。

しかし、中央アジアにおける我々の調査から、重金属や放射性核種による地下水汚染問題を明らかにしてきている。例えば、ウズベキスタンのアムダリア流域の生活水路で、ウランをはじめとする放射性核種の濃度が、極めて高いことを明らかにした。そして、リン肥料副産物のウランが灌漑排水を通して、浅層地下水を汚染したメカニズムを示し、飲料水中のウラン濃度が、WHOの基準値を上回ったと考えられることを明らかとした。

さらに、ニッケルや鉄、鉛、亜鉛、マンガンによる灌漑水や地下水の汚染がみられた。しかし、これら重金属の汚染源は、肥料でないことがこれまでの研究で明らかとなった。

さらに、鉍山が近隣にない地域でも、重金属の汚染が見られ鉍山による汚染でないこともわかった。これらのことから、重金属の汚染源はひとつでないことが推測される。

そこで、本研究では、中央アジアの重金属の濃度分布をもとに、灌漑農地での重金属の汚染源について、灌漑水と地下水、河川水、土壌、栽培食物などの調査から、重金属の食物連鎖による生態系への影響について考察する。そして、中央アジアの、重金属の大規模灌漑農業による汚染拡散のメカニズムを明らかにする。

### 3. 研究の方法

ウズベキスタンと、カザフスタン、キルギスの灌漑農地にて、灌漑用水、灌漑排水、土壌、作物の試料を採取する。さらに、重金属および、放射性核種の濃度を測定する。また、重金属と放射性核種濃度と比較するための主要元素について分析を行い、汚染の実態を量と質の両面から解明する。そして、WHOの飲料水ガイドラインと対比しながらどのような元素が、特に問題であるかを明らかにし、その汚染起源について考察する。放射性核種の天然ウランには、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$ の同位体についても、測定を行い濃縮ウランによる汚染の有無についても明らかとする。また、農家で、農業体系についての聞き取り調査を行い、農家の現状を把握する。そして、食物連鎖による生物への影響について考察する。さらに、今後の汚染防止策、および、汚染除去対策について立案する。

### 4. 研究成果

#### (1) 農家での聞き取り調査の結果

フェルガナ州ヨズヨボン郡の農民 52 戸を対象に、2010 年 6 月から 12 月にかけて聞き取り調査を実施した。

調査項目は、家族員の年齢、性別、教育、

職業及び収入、資産（家屋、機械及び家畜）、耕作地、農業投資及び生産物である。さらに生活全般、副業、農地および現在の課題について自由回答を求めた。

調査は、農家巡回訪問のおりに実施した。ヨズヨボン郡の Khonobod 村 (1 戸)、Korasokol 村 (2 戸)、Kotortol 村 (8 戸)、Ishtirkhon 村 (6 戸)、及び Chulguliston 村 (4 戸) の計 21 戸の農民が回答した。

これらのうち、9 戸は地方政府を通して国から 15~115 ヘクタールの使用権を得た（経営を請け負った）フェルメル (*fermer*) と呼ばれる農場経営者階層に属し、5 戸は 2~6 ヘクタールの桑園つき小農地の使用権を得た自営農民、6 戸は家の周囲に 0.5 ヘクタール未満の菜園地のみ使用を許され、フェルメルのもとで働く農業労働者 (*dekhan*) 階層に属していた（残余 1 戸は男性戸主不在で不完全回答となり詳細不明）。

フェルメルは土地面積により、国から 3 つの専売品、すなわち綿、小麦、また主にソ連邦時代に植えられた桑樹の本数に応じた繭の供出を請け負っていた。湿地や塩類集積地は自由な使用が許され、ここで栽培された米、ヒマワリ、トウモロコシ等の作物、桑の実を含む果物や、自家菜園地で育てられたジャガイモ、タマネギ、ニンジン等野菜の市場での自由販売を許されていた。他の農民も同様に、専売品以外の農産物を市場販売して収入とする一方、農業労働者はフェルメルの農場で雇用され給与を得ていた。養蚕は、得られる桑の葉量に応じて、全階層で行われていた。

(2) 大規模灌漑農業と大アラル海の縮小  
かつての湖底が塩砂漠となり問題視されていた。しかし、塩生植物の進出とともに塩被害は軽減され、周りの乾燥地と同様に、アカザ科の灌木であるサクサウールの繁殖がみ

られ、周辺の乾燥地風景と区別がつかないような状態の地域もみられた。

ウズベキスタン政府は、このかつての大アラル海の湖底で、天然ガスと石油の採掘を開始している。2006年、2009年、2010年の現地調査から、天然ガスの採掘がすすんでいることが明らかとなった。ここで採掘された天然ガスの多くが、ロシアに販売されている。さらに、採掘権をマレーシアの企業に売却している地域もある。このように、かつての湖底から現金収入が見込めることから、ウズベキスタン政府は大アラル海を元に戻すことは非常に考えにくいことが明らかとなった。

### (3) カラカルパキスタンの飲料水

いくつかの地点で飲飲料水中のウラン濃度は、WHOの飲料水ガイドラインレベルを超えていた。特に、Kichikangly村の飲料水のウラン濃度が高かった。ウラン汚染源がこの領域の近くにある可能性があり発生源をより詳細に検討することが重要である。

また、WHOはストロンチウム濃度の飲料水ガイドラインレベルを示していないが、非常に高いことがわかった。今後、ストロンチウム汚染物質の発生源の調査が必要であろう。

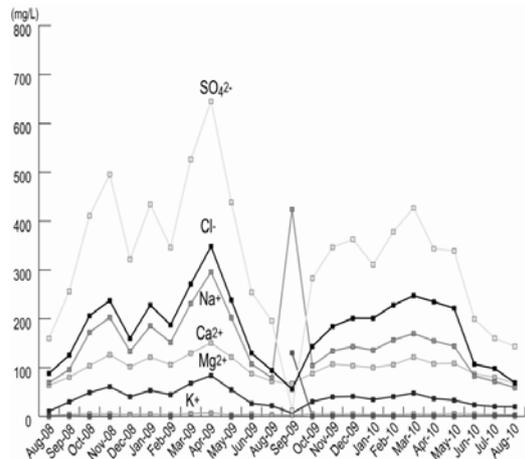
### (4) カラカルパキスタンのリン肥料

この領域で、水田1ヘクタールにリン酸肥料を150キロ使用する。ICP-MSのサンプルは、ちょうど水の分析のために溶解したが、ICP-MS試料のウラン濃度は、酸分解したサンプルで測定した $\alpha$ スペクトロメトリーによる結果よりも約10%低かった。このことは、このリン肥料に含まれるウランが水に容易に溶解することを示している。したがって、リン酸肥料に含まれるウランは水に溶解した農地に蓄積する一方、農地を通過し表層地下水に混合したことを示唆している。カラカ

ルパキスタン自治州の多くの地域で地下水を飲料水として使用しているので、飲料水のウラン汚染の原因の一つと考えられる。

### (5) アムダリア川と地下水の季節変動

我々は、カラカルパキスタン自治州で、地下水とアムダリヤ川の季節変動を調べた。主要イオンの最大濃度は、4月に検出された。



この季節に主要イオン濃度が高かったのは、雪の融解に起因すると考えられる。しかし、栄養塩濃度は異なった傾向を示した。11月から6月までNO<sub>3</sub><sup>2-</sup>からの濃度は他の季節よりも高かった、しかし、カラカルパキスタンの農業シーズンではなかったため、栄養塩の汚染源は、農業地域からではない。2008年夏に、アムダリヤの水量は他の年より余分に低かった。そしてカラカルパキスタンの多くの地域で、2008年に農作物を生産できなかった。上流国、キルギスとタジキスタンは水力発電所を建設することを計画している。これらの計画が実施されている場合は、さらに深刻な問題が、カラカルパキスタン地域で起こる可能性がある。

### (6) カザフスタンのウラン濃度

カザフスタンのクジロルダール地域で飲料水の調査を行った。その結果、浅層地下水のウラン濃度はWHOの飲料水ガイドライン

より非常に高い地域があることが明らかになった。一方、地下 100m より深いところから採水している非圧地下水中のウラン濃度は低いことがわかった。しかし、非圧地下水の塩分濃度が高いことから、除塩しないと飲料水には適さないことも明らかとなった。以上のことから、この地域で安全な飲料水を獲得することは非常に難しいこともわかった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Y. KAWABATA, M. KAWAI, M. YAMADA, S. ONWONA-AGYEMAN, V. APARIN, B. JOLLIBEKOV, T. KURITA, M. NAGAI, Y. KATAYAMA, Seasonal changes in water quality of rivers and ground water in Karakalpakstan, Uzbekistan, *International of Arid Land Studies*, 査読有, (in print)
- ② M. NASEDJANOV, H. WATANABE, I. WATANABE, Y. KAWABATA, D. Q. THUYET, Water Quality Monitoring of the Chirchik River Basin, Uzbekistan, *International of Arid Land Studies*, 査読有, (in print)
- ③ N. SABITOVA, J. VORONOVA, O. RUZIKULOVA, Y. KAWABATA, M. YAMADA, B. JOLLIBEKOV, Southwest Kyzylkum desert landscapes soil salinity increase estimate, *International of Arid Land Studies*, 査読有, (in print)
- ④ S. ONWONA-AGYEMAN, M. YAMADA, Y. KAWABATA, Utilization of forestry residue in erosion control and soil moisture conservation, *International of Arid Land Studies*, 査読有, (in print)
- ⑤ M. YAMADA, M. IIKUBO, Y. KAWABATA, S. ONWONA-AGYEMAN, Revitalizing silk-road silk industry - a case study in Fergana Region, Uzbekistan, *International of Arid Land Studies*, 査読有, (in print)
- ⑥ 川端良子, 中央アジアのアラル海の縮小が、漁業資源、農業、食料生産に及ぼす影響について, 日本海水学会誌, 査読有, 66, 79-85, 2012
- ⑦ 川端良子, 中央アジアのアラル海の環境問題, 沙漠研究, 査読無, 21(3), 119-122, 2011
- ⑧ Y. KAWABATA, T. A. MUNKHJARGAL, K. SHIRAISHI, M. NAGAI, and Y. KATAYAMA, Water pollution in the rivers of Northern Central Mongolia caused by human activity, *Journal of Arid Land Studies*, 査読有, 19 (1), 305-308, 2009
- ⑨ Y. KATAYAMA, A. MISAWA, N. YAMADA, S. YACHI, H. MUTO, T. AOKI, Y. KAWABATA, and M. NAGAI, Analysis of antimony around the abandoned Tsugu mine in Aichi Prefecture by neutron activation analysis, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 査読有, 278(2), 283-286, 2008
- ⑩ Y. KAWABATA, V. APARIN, M. NAGAI, M. YAMAMO, K. SHIRAISHI, and Y. KATAYAMA, Uranium and thorium isotopes from Kazakhstan, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 査読有, 278(2), 459-462, 2008

[学会発表] (計 8 件)

- ① 川端良子, 中央アジアの環境と技術, 沙漠学会秋期シンポジウム, 2011 年 10 月 8 日, 成蹊大学 (東京)

- ② Y. KAWABATA, URANIUM POLLUTION OF GROUND WATER IN KARAKALPAKSTAN, UZBEKISTAN, *Uranium, Mining and Hydrogeology VI*, 2011年9月21日, Friberg (Germany)
- ③ Y. KAWABATA, Seasonal changes in water quality of rivers and ground water in Karakalpakstan, Uzbekistan, *International Conference on Arid Land I*, 2011年5月28日, 成田東横イン国際会議場(千葉)
- ④ Y. KAWABATA, Environmental Problem in Central Asia, *Uzbek-Japanese International Round-Table on: «Institutions of civil society: ecological issues, democratic renewing and modernization of the country»*, 2011年1月31日, 衆議院会館国際会議場(東京)
- ⑤ Y. KAWABATA, Uranium Pollution of water in Uzbekistan, *Uzbek-Japanese International Round-Table on: «Institutions of civil society: ecological issues, democratic renewing and modernization of the country»*, 2009年6月3日, 順天堂大学(東京)
- ⑥ Y. KAWABATA, Uranium pollution of water in Central Asia, *Central Asia + Japan*, 2009年2月20日, 外務省国際会議場(東京)
- ⑦ Y. KAWABATA, Water pollution in the rivers of North Central Mongolia caused by human life, *9th International Conference on Desert Technologies*, 2008年11月13日, Douz (Tunisia)
- ⑧ Y. KAWABATA, Change of Aral Sea and Aral Sea Basin Caused by Large-scale Irrigation, *Seminar on Aral Sea*

*Problem, its Impact on Gene Pool of Population, Flore and Fauna and Measures on its Mitigation*, 2008年6月10日, JICA 地球ひろば(東京)

[図書] (計2件)

- ① Y. KAWABATA, V. APARIN, M. YAMADA, M. NAGAI, M. YAMAMOTO, and Y. KATAYAMA, *The New Uranium Mining Boom - Challenge and Lessons Learned*, Springer, 950, 2011
- ② K. Torerich, Y. KAWABATA, E.V. SHUYSKAYA, T.M. KHUJANAZAKOV, S.H. ISMAIL *The Structural and Functional Characteristics of Asiatic Desert Halophytes for Phytostabilization of Polluted Sites*, In: *Plant Adaptation and Phytoremediation, Springer Science+Business Media B. V* (ISBN 978-90-481-9369-1, e-ISBN 978-90-481-9370-7), 245-274, 2010

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川端 良子 (KAWABATA YOSHIKO)  
東京農工大学・国際センター・准教授  
研究者番号：40334479

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

片山 幸士 (KATAYAMA YUKIO)  
人間環境大学・人間環境学部・教授  
研究者番号：30026512  
長井 正博 (NAGAI MASAHIRO)  
人間環境大学・人間環境学部・准教授  
研究者番号：10329906  
山本 政儀 (YAMAMOTO MASAYOSHI)  
金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授  
研究者番号：10121295  
山田 祐彰 (YAMADA MASA AKI)  
東京農工大学・農学研究院・講師  
研究者番号：60323755  
五味 高志 (GOMI TAKASHI)  
東京農工大学・農学研究院・准教授  
研究者番号：30378921