

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間： 2006 ~ 2009  
 課題番号：18580330  
 研究課題名 (和文) ベトナム紅河デルタ農村の地下水ヒ素汚染に対する大量化学肥料投与の影響評価  
 研究課題名 (英文) Impact assessment of the application of massive chemical fertilizers on groundwater arsenic contamination in the farming villages of the Red River Delta, Vietnam  
 研究代表者 黒澤 靖 (KUROSAWA KIYOSHI)  
 九州大学・熱帯農学研究センター・教授  
 研究者番号： 70128114

## 研究成果の概要 (和文)：

ベトナム・ハノイ市南部農村では、地下水のヒ素濃度 ( $\mu\text{g/L}$ ) は最高 150、平均 40 と高い値であった。地下水中のヒ素は、堆積物に含まれるヒ素が地下水の還元環境下で溶出することにより発生していた。窒素肥料は、地下水のアンモニウム態窒素の発生源となっており、地下水ヒ素濃度の高い所では、この窒素の濃度が高くかつ酸化還元電位は低く、窒素肥料の地下水ヒ素汚染への関与が認められた。リン肥料の地下水ヒ素汚染への関与の度合は小さかった。

## 研究成果の概要 (英文)：

The arsenic concentration ( $\mu\text{g/L}$ ) of groundwater in the farming villages of southern Hanoi city, Vietnam was a high of 150 at maximum with an average of 40. The arsenic in groundwater was found to occur by the reductive release of arsenic from sediments to groundwater. Nitrogen fertilizer produced ammonium-N in groundwater. Where the arsenic concentration was high, the ammonium-N concentration was high and oxidation-reduction potential was low in groundwater, thus the contribution of nitrogen fertilizer to the groundwater arsenic contamination was recognized. Contribution of phosphate fertilizer to the groundwater arsenic contamination was identified to be small.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1200000	0	1200000
2007年度	800000	240000	1040000
2008年度	700000	210000	910000
2009年度	700000	210000	910000
年度			
総計	3400000	660000	4060000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：アンモニウム態窒素、化学肥料、還元溶出、紅河デルタ、水質基準、地下水、窒素同位体比、ヒ素

## 1. 研究開始当初の背景

ベトナム北部の紅河デルタでは、急速に地下水（井戸水）のヒ素汚染が起こりはじめていた。紅河デルタの 1800 万人の住民は井戸水を飲用水として使用しているため、ヒ素中毒患者が出ており、その患者数は今後さらに増加する可能性があった。

紅河デルタの農地では、近年イネ高収量品種の導入、野菜栽培の増加によって、化学肥料が大量に投入されるようになっていたため、地下水ヒ素汚染の原因として、化学肥料の投入が考えられた。

紅河デルタの地下水ヒ素汚染が農地に大量に投入される化学肥料によるのかどうか、そしてもしそうだとすれば、化学肥料が具体的にどのように地下水ヒ素汚染に関与しているかを究明することは、緊急かつ重要な課題であった。

## 2. 研究の目的

本研究では、

- (1) ベトナム・紅河デルタに位置するハノイ南部農村で地下水ヒ素濃度のレベルがどの程度であるか、また地表水のそれについてはどうであるか、
- (2) 地下水ヒ素濃度は、農村間で、また測定時期によって変化するかどうか、
- (3) 地下水ヒ素濃度は、井戸の深さとどのような関係にあるか、
- (4) これらの農村での化学肥料（窒素肥料、リン肥料）の投入量はどのようなレベルであるか、
- (5) 窒素肥料、リン肥料の投入は、地下水ヒ素汚染に具体的にどう関与するか、
- (6) 以上で得られた事柄は、ベトナムのハノイ南部農村以外でも認められるかどうか、を明らかにすることとした。

本研究は、これらの結果をもとに、化学肥料施肥と地下水ヒ素汚染の関連性を定量的に評価し、もって将来の地下水ヒ素汚染防止対策や環境保全型農業の確立に役

立てようとするものであった。

## 3. 研究の方法

(1) 農村の立地環境調査：紅河デルタの地下水位とその変動、地下水使用量、土地利用、人口、地形、地質、土壌等の立地環境に関する資料を収集する。

(2) 調査対象地の設定：都市型の集約的農業が営まれるハノイ市南部の農村で立地環境を考慮して、4 つ程度の調査対象農村を設定する。

なお、ハノイ市南部と他地域を比較するため、ベトナム国南部のドンナイ省、ドンタップ省にも、調査地を設定する。

(3) 作付体系・化学肥料施肥量の調査：各対象農村で、作付体系、作付面積、各作付における窒素、リン各化学肥料施肥量を、農家や村役場での聞き取り調査によって把握する。

(4) 水質調査：農家の井戸水をサンプリングし、酸化還元電位を携帯用水質計によって測定する。井戸の深さも測定する。次に井戸水のアンモニウム態及び硝酸態窒素濃度を、ハノイ農業大学実験室で分光光度計により、または現場でフィールドキットにより測定する。井戸水はさらに日本に持ち帰り、そのヒ素濃度を ICP-MS または原子吸光光度計により測定する。なおヒ素濃度は、場合により現地機関でボルタンメトリー法により、またはその他の方法により測定する。地下水中のアンモニウム態及び硝酸態窒素の供給源が何であるかを特定するため、窒素同位体比分析を行う。この分析は、井戸水を日本に持ち帰ったのち、分析会社に依頼する。地表水（河川水、湖沼水、灌漑水路水）についても、酸化還元電位、アンモニウム態及び硝酸態窒素濃度、ヒ素濃度を測定する。

(5) 化学肥料のヒ素含有量分析：現地で投入されるリン肥料を採取し、日本に持ち帰って、そのヒ素含有量を、ICP-MS を用いて測定する。

現地における調査・分析は、筆者が、かつて JICA 専門家としてハノイ農業大学に長期

滞在したときのカウンターパートとともに行う。

(6) データ解析：上記の方法で得られた諸項目のデータを用い、地下水のヒ素濃度と諸項目との関連性について、主に統計的方法で解析する。

#### 4. 研究成果

(1) 対象農村における作付体系、化学肥料施肥量：対象農村は、ハノイ市南部の4つの農村とした。この農地では、年に複数回稲作または野菜作が行われ、農地への窒素化学肥料施肥量は年間に140–1600 kg/haと大きな値であった。リン施肥量は90–380 kg/haであった。

(2) 地下水のヒ素濃度とその時空間的変動：地下水の調査は合計2回、2年の間隔を置いて、いずれも9月下旬–11月初めに行った。この時期は雨季から乾季への移行期で、地下水位は安定していた。対象4農村で合計22か所の井戸水を調査した。井戸水ヒ素濃度は、対象地全体の最大値がおおよそ150 µg/Lで、これはWHO水質基準の約15倍と高い値であった。農村別では、4農村のうち3農村でヒ素濃度最大値が100 µg/L以上で、対象農村全体としてはヒ素濃度が高いと認められた。農村全体の平均値は、41 µg/Lであった。農村及び調査時期の違いによるヒ素濃度の違いは認められなかった。

(3) 地表水のヒ素濃度と地下水でのヒ素発生の要因：地表水のヒ素濃度調査は、4農村で合計20箇所、1回のみ行った。地表水のヒ素濃度は、各農村で地下水のそれよりも低く、最大値は80 µg/L、平均値は16 µg/Lであった。対象農村で使われるリン肥料のヒ素含有量は、2.6–3.6 mg/kgであった。地表水にヒ素が含まれる原因として、ヒ素を含むリン肥料の地表水への混入が考えられた。

(4) リン肥料の地下水ヒ素汚染への影響：農村別のリン施肥量と地下水ヒ素濃度には関連がなく、また後述のようにヒ素を多く含む堆積層が比較的深い位置にあるため、リン肥料が地下深い所で堆積物中のヒ素を地下水へ遊離させる作用は、小さいと考えられた。ただし、井戸の個別的な位置条件を考慮する

余地はある。リン肥料の混入でヒ素を含んだ地表水が地下に浸透してヒ素汚染に影響することについては、その度合いは小さいと考えられた。

(5) 堆積物からの地下水へのヒ素溶出機構：地下水ヒ素濃度が高い井戸では、地下水の酸化還元電位が低かったため、地下水が還元的な環境下で堆積物中のヒ素が地下水に溶出していると判断された。また、地下水のヒ素濃度が高い井戸では、そのアンモニウム態窒素濃度も高かった。地下水の硝酸態窒素濃度は低く、地下水の無機態窒素成分の大部分はアンモニウム態窒素であった。各農村の地下水の無機態窒素について窒素同位体比分析を行ったところ、無機態窒素の供給源は、全農村のうち3農村では化学肥料、1農村では畜産廃液であった。窒素肥料は、地下水に高濃度のアンモニウム態窒素を発生させて、ヒ素濃度を高くしていた。堆積物からのヒ素溶出において、窒素肥料は重要な役割を果たしていると判断された。

(6) 地下水ヒ素濃度と地下水の深さとの関連：地下水ヒ素濃度は、対象4農村では地下水の深さが40–65mの箇所でもっと高いという結果が得られた。これについては、対象地の40–65mの深さの堆積物がヒ素を最も多く含むためと考えられた。

(7) ベトナムの他の地域との比較：ハノイ市南部の農村との比較のため、ベトナム国南部ドンナイ省の農村で、井戸水のヒ素濃度を調査した。ここでも、ハノイ南部農村と同様、大量の化学肥料が投入されていた。井戸水のヒ素濃度は、調査した15地点で0.01–0.5 µg/Lと低い値であった。この井戸水の無機態窒素成分はアンモニウム態窒素濃度よりも硝酸態窒素濃度の方が大きく、酸化還元電位は比較的高い値であった。

ベトナム国南部メコンデルタにあるドンタップ省の農村でも、地下水ヒ素濃度を調査した。7箇所の井戸水のヒ素濃度は250–2,500 µg/L（平均1,050 µg/L）で、WHO水質基準を大幅に超える値であった。地下水の酸化還元電位は60–100mVと低く、地下水は還元的状態で、これにより地層から地下水へのヒ素が溶出していると考えられた。地下水ヒ素濃度の高い井戸では、アンモニウム態

窒素濃度も高かった。アンモニウム態窒素濃度の供給源として化学肥料が考えられたが、畜産農家の井戸水でもアンモニウム態窒素濃度は高かったので、供給源として局所的に畜産廃液も考えられた。紅河デルタに比べこの地域で地下水のヒ素濃度が高い理由として、この地域の地層がヒ素を大量に含むことが考えられた。

(8)今後の課題：地下水ヒ素濃度には、その地域の堆積物のヒ素含有量やヒ素を多く含む堆積物の深さが関連するので、今後は、地下水ばかりでなく堆積物の特性についても考慮する必要がある。地下水における高濃度アンモニウム態窒素発生と還元環境との関連については、バクテリアの活動が関係している可能性があるため、この面からも検討する必要がある。

#### 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5件)

- ① Kiyoshi KUROSAWA, Hai Nguyen DO, Thanh Huu NGUYEN, Le Ha Thi TRAN, Lam Tra Thi HO and Kazuhiko EGASHIRA, Variations in Inorganic Nitrogen Levels in Surface and Groundwater in Farming Villages around Hanoi, Vietnam, *Tropical Agriculture and Development*, 査読有, Vol. 52, No. 1, 2008, pp. 27-31.
- ② Kiyoshi Kurosawa, Do Nguyen Hai, Nguyen Huu Thanh, Ho Thi Lam Tra, Tran Thi Le Ha, Trinh Quang Huy and Kazuhiko Egashira, Excessive Level of Inorganic Nitrogen in Groundwater in the Intensively Farmed Areas of Northern Vietnam, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 査読有, Vol. 39, 2008, pp. 2053-2067.
- ③ Shinji Fukuda, Trinh Quang Huy, Do Nguyen Hai, Pham Van Cuong, Takuya Araki, Masaru Matsumoto, Ho Thi Lam Tra, Yuki Mori, Yohei Shimasaki, Ha Viet Cuong, Kiyoshi Kurosawa, A preliminary model for estimating daily solar radiation in Gia Lam district, Hanoi, Vietnam, *Bulletin of the Institute of*

*Tropical Agriculture*, Kyushu University, 査読有, Vol. 31, 2008, pp. 51-60.

- ④ Shinji Fukuda, Trinh Quang Huy, Pham Van Cuong, Takuya Araki, Do Nguyen Hai, Ho Thi Lam Tra, Yuki Mori, Yohei Shimasaki, Masaru Matsumoto, Ha Viet Cuong, Kiyoshi Kurosawa, Sensitivity analysis on the daily water temperature model for paddy fields in Red River Delta, Vietnam, *Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture*, Kyushu University, 査読有, Vol. 30, 2007, pp. 67-81.
- ⑤ Kiyoshi Kurosawa, Do Nguyen Hai, Nguyen Huu Thanh, Ho Thi Lam Tra, Tran Thi Le Ha, Trinh Quang Huy and Kazuhiko Egashira, Monitoring of Inorganic Nitrogen in Surface and Groundwater at the Intensive Farming Villages of the Red River Delta, Viet Nam, *Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture*, Kyushu University, 査読有, Vol. 30, 2007, pp. 29-38.

[学会発表] (計7件)

- ① Kiyoshi Kurosawa, Arsenic concentration of groundwater in the farming villages of southern part of Hanoi City, Vietnam, アジア地下水ヒ素汚染フォーラム, 2009年11月15日, 福島.
- ② Md. Shamim Uddin, Fertilizer effect on arsenic release from sediments to groundwater based on laboratory experiment, アジア地下水ヒ素汚染フォーラム, 2009年11月14日, 福島.
- ③ Kurosawa, K., Present State of the Arsenic Contaminations in the Groundwater in the Lower Mekong River Basin, Seminar on Pathway of Arsenic from Groundwater Contamination to Human Health Hazard, Mar. 3, 2009, Mymensingh, Bangladesh.
- ④ Do Nguyen Hai, Temporal Changes of Inorganic-N Concentrations of Surface and Groundwater during a Rice Planting Period in Farming Villages of Northern Vietnam, JSPS International Seminar

2008 “Hybrid Rice and Transformation of Farming Systems”, 2008年11月23日, 福岡.

- ⑤ Kiyoshi Kurosawa, The level and sources of inorganic-N in the water of urbanized farming villages in Hanoi City, JSPS International Seminar- Hybrid Rice and Agroecosystem, 23, Nov. 2007, Hanoi, Vietnam.
- ⑥ Shinji FUKUDA, Numerical simulation on daily water temperature in paddy fields under hybrid rice cultivation, JSPS International Seminar- Hybrid Rice and Agroecosystem, 23, Nov. 2007, Hanoi, Vietnam.
- ⑦ Kiyoshi Kurosawa, Arsenic Contamination of Groundwater in the Farming Villages in and around Hanoi City, Recent Development in the Research of Soil and Water, Sep., 21, 2007, Hanoi, Vietnam.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

黒澤 靖 (KUROSAWA KIYOSHI)

九州大学・熱帯農学研究センター・教授

研究者番号：70128114

### (2) 研究分担者

江頭 和彦 (EGASHIRA KAZUHIKO)

九州大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号：20038293

(H19：定年退職)

福田 信二 (FUKUDA SHINJI)

九州大学・熱帯農学研究センター・助教

研究者番号：70437771

(H19→H20：連携研究者)