

## 高塩分濃度地域における耕作：タンザニア中部ドドマ地域の事例

加藤智弘<sup>1</sup>・Samwel Stanley Shati<sup>2</sup>・田崎和江<sup>3</sup>・畑 裕一<sup>4</sup>・Paschal Magai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学大学院, 〒 929-0342 石川県金沢市角間町

<sup>2</sup> 島根大学大学院, 〒 690-8504 島根県松江市西川津町 1060

<sup>3</sup> 河北潟湖沼研究所, 〒 929-0342 石川県河北潟津幡町字北中条ナ 9-9

<sup>4</sup> 株式会社 地球システム科学, 〒 160-0022 東京都新宿区新宿 1 - 23 - 1

(連絡先：加藤智弘 Email : kato-tomohiro@ess-jpn.co.jp,

田崎和江 Email : kazueta@cure.ocn.ne.jp)

要約：2010年12月、タンザニア国の首都ドドマから北西に約35kmに位置するバヒ湿地帯にて、現地住民の方々が日頃飲料水として利用している給水施設（掘抜き井戸や手押しポンプ等）から地下水を採取、水質検査を行った。バヒ湿地帯では、浅層地下にウラン鉱床やSr等の放射性物質の堆積が確認されている。また、同地域の地表・地下に広く分布する風化花崗岩から浸出した種々のミネラルにより地下水が広く塩水化している。分析した地下水は電気伝導度（798 - 12,435 $\mu$ S/cm）が高く、K（9.0 - 30.0mg/l）、Cl（71.2 - 479mg/l）等の塩類の溶存も確認された。一方、塩分濃度が高い地下水が流入する本湿地帯でも多くの作物が栽培されており、本調査において稲やトウモロコシの作付け・生育状況や塩害の有無を観察した。バヒ湿地帯のエコシステムの解明や塩害地での耕作の参考になる本地域の水質、植生に関する分析結果を提供する。

キーワード：植生、湿地帯土壌、高塩分濃度、ドドマ、タンザニア、pH、電気伝導度、塩素イオン、微量元素

## Vegetation on Swampy Soils with High Salinity in case of Dodoma Region in Tanzania

Kato, T., Shati, S., S., Tazaki, K., Hata, Y., Magai, P.

(Corresponding person; Kato Email: kato-tomohiro@ess-jpn.co.jp,

and Tazaki E-mail; kazueta@cure.ocn.ne.jp)

Abstract: In Bahi Swamp of Dodoma region, Tanzania, where Uranium mine underlays as well as radioactive substances are widely deposited, groundwater from existing water facilities such as dug wells and hand pumps for local residents was sampled and analyzed on its chemical parameters for . Groundwater there is largely salinated from minerals leached weathered granite. It was confirmed that sampled ground water had rather high Electric Conductivity (EC) (798 - 12,435 $\mu$ S/cm) and also components of salts: K (9.0 - 30.0mg/l) and Cl (71.2 - 479mg/l). On the other hand, various kinds of vegetation thrive in this swamp area influenced with salt rich ground water. In this study, the conditions of rice and maize and negative influence on these crops from salt rich ground water were studied carefully. It is our expectation that the information in this study might be utilized for the study on ecosystem in Bahi Swamp as well as that on similar situations in Japan.

Keywords; Vegetation, Swampy Soil, High Salinity, Dodoma, Tanzania, pH, EC, Chloride Ion, Trace Elements

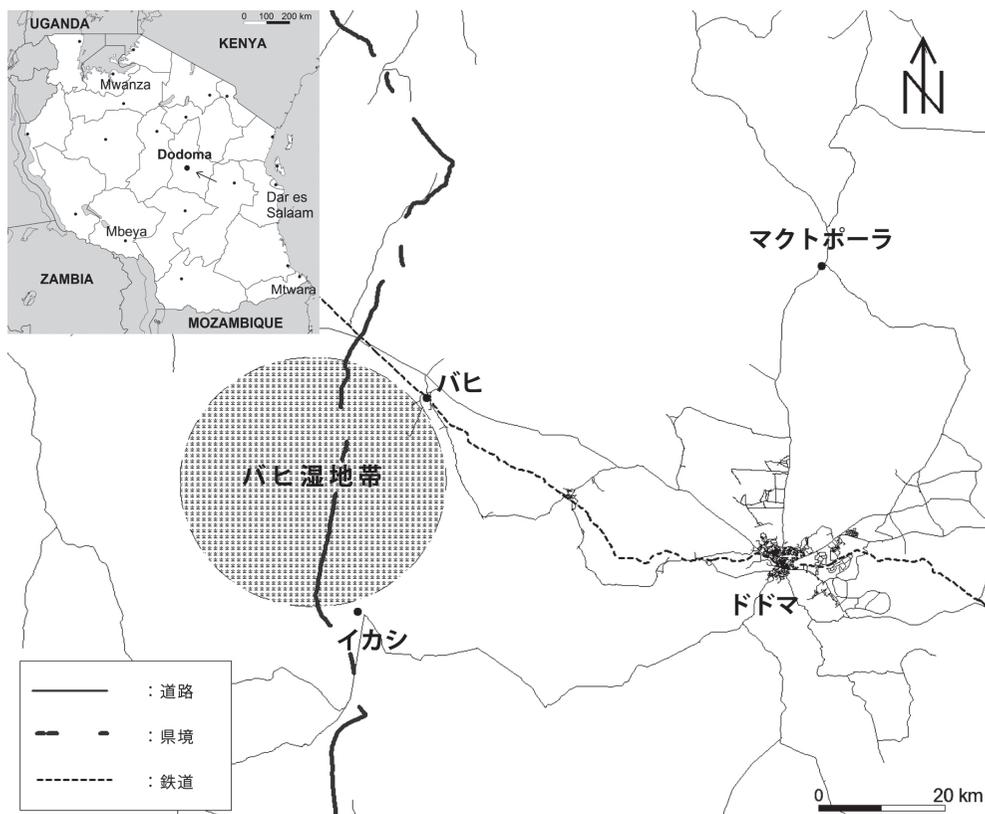


Fig. 1. Location map of study area at Bahi Swamp in Bahi District of Dodoma Region, Tanzania.  
 図 1. タンザニア国ドドマ州バヒ湿地帯の位置図.

## はじめに

タンザニア国の中央に位置する首都ドドマから北西に約 50km 付近にバヒ県は位置する。県内には 20 の郡があり、国勢調査 (2012 年) では人口が 221,645 人であった (NBS, 2012)。ドドマからシンギダ州、シニャンガ州をとおりビクトリア湖に至る国道が同県を横断している。その国道沿いに雨季の間に形成するバヒ湖の沿岸に湿地帯が広がる (UNDP/UNFAO, 1983)。本湿地帯を含む涵養域には、風化花崗岩帯 (始生代) が広く分布する。それら風化帯からの浸出水にウラン等の放射性物質や重金属などのミネラルが溶存しており、それらの溶存イオンはバヒ湿地帯に流れ込んだ後、堆積物中に化学的に取り込まれている (Bianconi, 1987)。また、乾季にはバヒ湖に集積した水は蒸発してしまい残存した湖水や浅層地下水ではミネラル分が濃縮され

る。現地住民は塩分濃度が高い地下水から塩を生成して利用している (Monburi, *et al.*, 2009)。

Anthony (<http://www.cesopetz.org/projects/uranium-exploration-central-tanzania/>) がバヒ湿地帯周辺ウラン鉱山活動からの周辺環境への影響や住民への健康被害を調査した際に、同湿地帯で農業や塩の生産から生計を立てている人口を 268,000 人と推計している。筆者らが、同国水省のデータベース (Water Point Mapping Tanzania: <http://wpm.maji.go.tz/>) で調べたところ、同湿地帯周辺には 352 基の給水施設 (広域水道の公共水栓 81%、ハンドポンプ 19%) が稼働している。同国では、1 基の給水施設で 250 人に対して給水するという設計指針であるので、同湿地帯周辺の給水人口は 88,000 人となる。推計人口と比較するとバヒ湿地帯周辺の公共給水施設による給水率は 32.8% となり、約 67% の人口が、水質の保証の無い伝統水源である湖水や掘抜

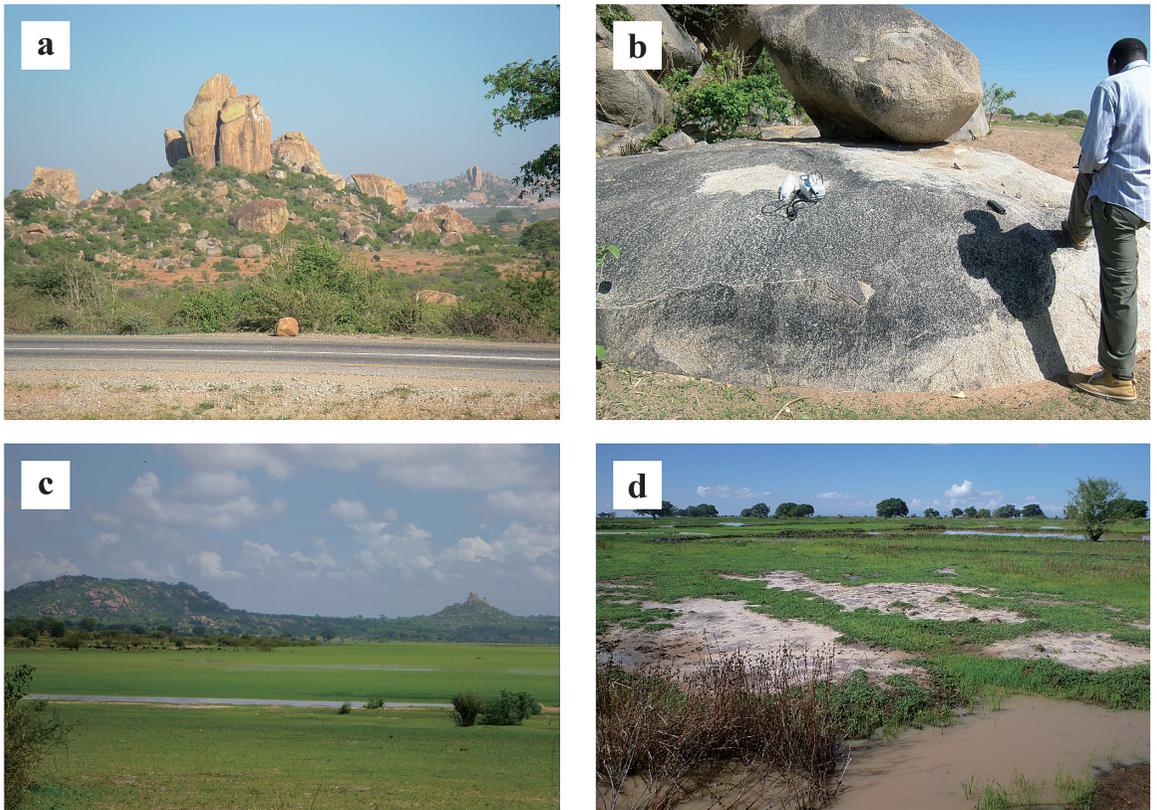


Fig. 2. Environmental conditions around Bahi Swamp, Dodoma, Tanzania. a: Granite dyke around Bahi Swamp, b: Fresh granite, c: Bahi Swamp, d: Paddy field around Bahi Swamp.

図 2. バヒ湿地帯周辺環境. a: 湿地帯周辺の花崗岩帯, b: 新鮮な花崗岩, c: バヒ湿地帯, d: 湿地帯周辺の水田地帯 (撮影日 a, b: 2010 年 12 月 18 日, c, d: 2011 年 12 月 25 日).

き井戸からの水を利用して生活をしている。上述の通り同地域の湖水や地下水には多種の放射性物質や重金属が含まれているが、バヒ湿地帯周辺住民の多くは無処理の地下水や湖水を飲料水としてだけでなく、そこで生育した米や野菜等も摂取している。

筆者らは、高放射能と塩分濃度の環境下における土壌・水・微生物の関係を調査する一環として、同地域の水質調査、及び植生についての観察を行った。本調査結果は、日本における塩分濃度が高い水田土壌や干拓地における植生に与える影響に関する研究の一助になると考え報告する。

### 試料、及び研究方法

測定試料は、一般的に雨季の始まりである 12 月中旬にバヒ湿地帯周辺 (図 1) の浅井戸、手掘り井戸、

広域水道の公共水栓 (水源は地下水) から採取した。植生の観察について、バヒ湿地帯を横断する国道沿いのシゴンボロラ村で測定試料採取と同時に行った。

採取した試料は、Geological Survey of Tanzania (GST: タンザニア地質調査所) の機器分析室にて pH や電気伝導度等の項目について各測定機器を用いて測定を行った。また、K や Mn 等の金属 6 項目については原子吸光光度計 (Varian 社 SpectrAA 220FS) を用いて測定した。

### 結果

バヒ湿地帯は、アフリカ東部を南北に縦断する東リフトバレーと西リフトバレーに囲まれた地域に複雑に発達する断層によって形成されるバヒ・マニョニ盆地の低地に位置する (Farley, 1958)。調査地域

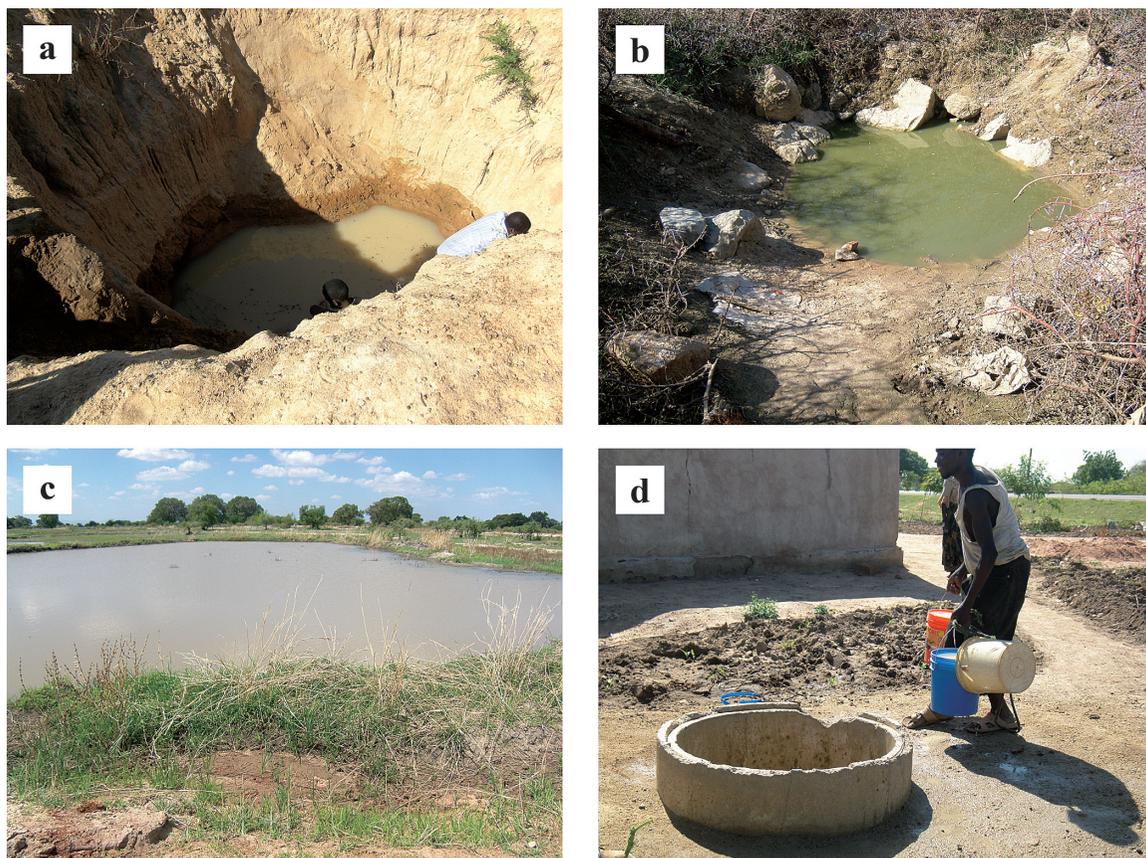


Fig. 3. Traditional water sources around Bahi Swamp. a: Unprotected hand dug well (depth approx. 4m), b: Leachate from very shallow soil, c: Water reservoir, d: Protected hand dug well (depth approx. 5m).  
 図3. バヒ湿地帯周辺の伝統水源 a: 保護無し手掘り井戸（深さ約4m）, b: 地表からの浸出水, c: 貯水池, d: 保護有り手掘り井戸（深さ約5m）（撮影日 全写真：2010年12月18日）.

では、先カンブリア時代の花崗岩が基盤岩として広く分布している (Macheyeki *et al.*, 2008). また、その一部は地表に露出しており風化が進んでいる (図2).

バヒ湿地帯周辺の住民は、地表から4~5m程の穴を掘り、その底に溜まった浅層地下水や表流水を貯めた貯水池から生活用水を得ている (図3). バヒ湿地帯周辺のこのような伝統水源や広域水道の共同水栓から採水して水質を分析した (表1). 掘抜き井戸 (浅井戸) からのサンプルはシルトを含んでいる事が多く、薄褐色~灰色の着色を確認した. pHは全体に中性から弱アルカリ性であった. 電気伝導度 (EC) は全体的に高く、バヒ湿地帯に最も近い地点で採取した2つのサンプルは  $7945\mu\text{S}/\text{cm}$  (ソコニ村浅

井戸), 及び  $12435\mu\text{S}/\text{cm}$  (バヒ県都市給水共同水栓) であった. ECと相関してサンプル中の Cl ( $71.2 \sim 479 \text{ mg}/\text{l}$ ) や K ( $9.0 \sim 15.0 \text{ mg}/\text{l}$ ) の濃度も高くなる傾向が認められた. CdやPbも殆どのサンプルから検出されており、風化花崗岩からの溶出により重金属が地下水に溶存している事が確認できた.

水質分析の結果からバヒ湿地帯周辺の地下水には、KやCl等の塩類やCdやPb等の重金属の存在を確認した. バヒ湿地帯では、乾季の間、浅層地下水を利用した塩の生成が産業化している (Monburi, *et al.*, 2009). この様に地下水や土壌の塩分濃度が高い状況でも湿地帯には水草や低木が生育しており当地における植生を形成している. 湿地帯では、雨季の間、稲作が盛んに行われており (図4)、タンザ

Table 1. Chemical composition of water samples collected around Bahi Swamp, Dodoma, Tanzania.  
 表 1. バヒ湿地帯周辺水源の水質調査結果 (2010 年 11 月～12 月測定).

| サンプル番号・採取場所               | 色   | 温度<br>℃ | pH  | EC<br>μS/cm | Cl<br>mg/l | K<br>mg/l | Mn<br>mg/l | Zn<br>mg/l | Cd<br>mg/l | Pb<br>mg/l |
|---------------------------|-----|---------|-----|-------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 1. ドドマ都市給水生産井<br>(マクタポーラ) | 無色  | 27      | 7.0 | -           | -          | -         | -          | -          | -          | -          |
| 2. ンゴンゴナ村浅井戸              | 無色  | 27      | 7.4 | 798         | 71.2       | 12.3      | -          | 0.09       | 0.12       | 0.07       |
| 3. NHC 共同水栓               | 無色  | 27      | 7.5 | 919         | 160        | 11.9      | -          | N.D.       | 0.04       | 0.08       |
| 4. ブプ川                    | 灰色  | 28      | 6.8 | 1655        | 372        | 13.0      | 0.05       | 0.02       | 0.20       | 0.05       |
| 5. イイリンディ村浅井戸             | 灰色  | 28      | 6.8 | 1375        | 195        | 14.0      | 0.02       | 0.06       | 0.06       | 0.05       |
| 6. ムパマトゥワ村浅井戸             | 薄褐色 | 28      | 7.0 | 2275        | 177        | 12.0      | 0.02       | 0.03       | 0.07       | 0.09       |
| 7. ソコニ村浅井戸<br>(バヒ湿地帯)     | 薄褐色 | 27      | 7.8 | 7945        | 106        | 30.0      | N.D.       | N.D.       | 0.07       | 0.07       |
| 8. バヒ県都市給水共同水栓            | 無色  | 28      | 7.7 | 12435       | 479        | 9.0       | 0.03       | N.D.       | 0.07       | 0.14       |
| 9. イビーワ村浅井戸               | 褐色  | 28      | 7.1 | 5975        | 213        | 15.0      | 0.10       | 0.08       | 0.06       | 0.11       |

N.D.: 未検出、-: データ無

ニア国内でムバヤやイリングと共に有数の米の産地である (UNDP/UNFAO, 1983).

### まとめ

国土の広いタンザニアの国民が、等しく首都にアクセスできるようにと言う考えにより地理的にタンザニアの中心であるドドマに遷都する計画が1970年代に企画された。しかし、生活インフラの整備等の理由から長年実現せず、1996年に立法府がドドマに移転したが、現在でも省庁等の行政機関を中心とする首都機能はダルエスサラームにある。ドドマの気候は、半乾燥地帯であり水資源に乏しく首都としては様々な問題がある (栗田・根本, 2008)。

タンザニアでは、典型的には11-12月が小雨季、3-5月が大雨季であるが、ドドマ等の内陸地域では12月から翌年の5月くらいまで断続的に雨季が続くことが一般的である。栗田・根本 (2008) によるとドドマ地域における年間降雨量は570mm程度である。一方、タンザニアの海岸地域やビクトリア湖周辺の都市では、平均的な年間降水量が1000mm程度 (ダルエスサラーム: 1066mm, ザンジバル・シティ: 1350mm, ムワンザ: 930mm) である。バヒ湿地帯を外縁に擁するバヒ湖も絶えず水を湛えるわけではなく、降雨量にも左右されるが数年に一度は

湖面が消失する。バヒ湿地帯は、ミネラルを多く含む風化花崗岩帯からの浸出水や雨水により涵養されるが、乾季の間には蒸発量が極端に多く塩集積が進む (Monburi, *et al.*, 2009)。本調査で行ったバヒ湿地帯周辺地下水の分析結果 (EC: 798 ~ 12435 μS/cm, Cl: 71.2 ~ 479 mg/l や K: 9.0 ~ 15.0 mg/l) からも同地域の地下水は塩類の濃度が高い事が確認できた。また、重金属 (Cd, Pb) に関してタンザニア国の飲料水基準 (Cd: 0.1 mg/l, Pb: 0.1 mg/l) を超過するような濃度がサンプル中に確認された。更に Kato, *et al.* (in press) によるとバヒ湿地帯の土壌には、風化花崗岩から溶出された Sr, Th, Rb 等の放射性物質の存在も確認されている。日本でも東日本大震災の津波や福島第一原発での事故により水田土壌中に塩集積や放射性物質が確認されている (Tazaki, *et al.*, 2015)。

この様にバヒ湿地帯では、土壌や地下水に塩類が集積している。しかし、バヒ湖や湿地帯に水がある雨季の間は稲作が盛んに行われており、塩類集積が稲作を大きく阻害するような事態にはなっていない。本調査で行った水質分析の結果から、pHが中性から弱アルカリ性であったことから土壌中の塩類やその他のミネラル分が相対的に不活性な状態であることが考えられ、この様な環境下では稲作が行えることが理解できた。日本でも汽水域に防潮水門や堰を

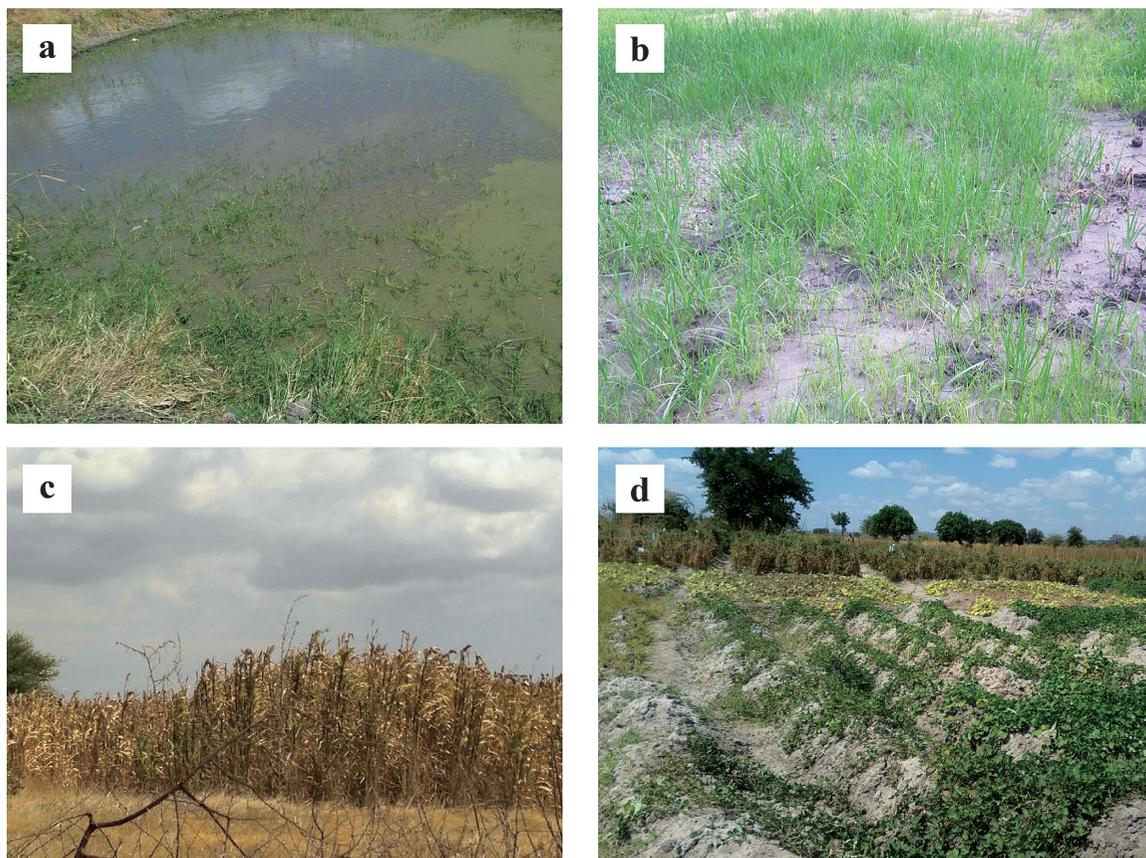


Fig. 4. Vegetation around Bahi Swamp. a: Vegetation around paddy field, b: Young upland rice, c: Corn field before the harvest, d: tomato field (front) and sweet potato field (back).

図4. バヒ湿地帯周辺の植生 a: 水田付近の植生, b: 陸稲の苗, c: 収穫前のトウモロコシ, d: トマト (奥) とサツマイモの畝 (手前) (撮影日 a, c, d: 2016年6月27日, b: 2011年12月25日).

設置して干拓することで、汽水域の複雑で豊かな自然が失われることが問題となっているが、バヒ湿地帯においては塩分濃度が高い土壌や水を自然状態で用いながら農業活動が行われている。バヒ湿地帯に見られる土壌や水の自然状態と農業活動の関係性には、日本における汽水域における開発を伴う農業活動に一石を投じる側面があると考えられる。

### 謝 辞

本研究の現地調査を実施する際には、タンザニア地質調査所のモンバーリー博士、ドドマ都市給水・排水公社の技師より多大なる便宜を受けた。また、タンザニア地質調査所の機器分析室の技官には採取

した水サンプルの水質を分析していただいた。そして、株式会社地球システム科学のリダ・ダリー、アイリーン・ムチョンプには、スワヒリ語資料の説明・翻訳を手伝っていただいた。皆様のご協力に深く感謝申し上げます。

### 文 献

- Bianconi, F. 1987. Uranium geology of Tanzania. Monograph Series on Mineral Deposits 27: Gebruder Borntraeger. 11-25.
- Farley, A.P. 1958. Diamond drilling In the Bahi swamp. Geological Survey of Tanganyika. 6, 47-51.

- Kato, T., K. Tazaki, S. S. Shati, Y. Shimojima, M. Okuno, Y. Hata, T. Yamakawa, M. P. Bazil, M. KSR and K. Morita. 2016. High radioactivity of paddy soils and salt in Dodoma, Tanzania; Microorganisms thrive in high salinity and radioactive substances. *RADIOISOTOPES*. (in press).
- 栗田和明・根本利通. 2008. タンザニアを知るための60章. 明石書店. 373p.
- Macheyeki, A.S., D. Delvaux, M. De Batist and A. Mruma. 2008. Fault kinetics and tectonic stress in the seismically active Manyara - Dodoma Rift segment in Central Tanzania - Implications for the East African Rift. *Journal of Africa Sciences* 51: 163-188.
- Momburi, P.B., Z. Duru, M. Masota, G. Machumu and G. Nshange. 2009. Extension service for small scale salt producers in Dodoma, Singida and Manyara regions. Geological Survey of Tanzania, Dodoma, 1-20.
- National Bureau of Statistics of Tanzania (NBS). 2012. Dodoma Region basic demographic and socio-economic profile. <http://www.nbs.go.tz/>
- Tazaki, K., Y. Shimojima, T. Takehara and M. Nakano. 2015. Formation of microbial mats and salt in radioactive paddy soils in Fukushima, Japan. *Minerals*. 5(4): 849-862.
- United Nations Development Program, United Nations Food and Agriculture Organization. 1983. Soil survey report of Dodoma Capital City. 127p.