

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：34403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23310190

研究課題名(和文)イラクの塩害と砂漠化の環境史

研究課題名(英文)Ecohistory of salinization and aridification in Iraq

研究代表者

渡辺 千香子(Watanabe, Chikako E.)

大阪学院大学・国際学部・准教授

研究者番号：40290233

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：現代のイラクで深刻な問題となっている塩害と砂漠化について論じるには、世界最古の都市化と急激な人口増加に見舞われた古代メソポタミアの環境変化を明らかにすることが重要である。本研究は粘土板に使われた胎土の分析を通して、高精度な時間軸上に古代の水環境変化を復元する可能性を追究した。河川堆積土から作られた粘土板胎土に含まれる珪藻は、プロキシとして古代の水の塩分濃度を示す可能性がある。同時に、粘土板の胎土が出土地に由来することを裏付けるため、非破壊による胎土の化学分析を行なった。また現代イラクで生じている塩害について衛星画像データから分析し、古代の塩害に関するコンピュータ・モデリングに活用した。

研究成果の概要(英文)：Salinization and aridification are serious environmental problems in modern Iraq. In order to understand these problems from the point of view of an interaction between human activities and the natural environment, it is important to consider the ancient historical period when urbanization and rapid population growth occurred. This study endeavored to trace changes in water resources through an analysis of source materials used for clay tablets, which are assumed to have originated in river sediment. We examined microfossils, in particular diatoms, contained in the tablet clay in order to trace the level of salinity in water. In addition, non-destructive chemical analysis was carried out to ensure that the tablet clay was of local origin. The study examined the validity of analyzing this type of clay as a means of tracing environmental changes in antiquity.

研究分野：文明環境学・アッシリア学・美術史

キーワード：メソポタミア 粘土板 古環境 塩害 珪藻

1. 研究開始当初の背景

シュメールと呼ばれた古代のイラク南部には、多くの都市国家が繁栄した。現在、その地表には塩類が集積し、広大な砂漠と化している。「肥沃な三日月地帯」の一部を成していた大地が不毛の地へと帰した要因に、塩害による土壤劣化が指摘されてきた (Jacobsen & Adams 1958)。しかし、塩害と王朝の衰亡を裏付ける調査は行われておらず、また古代の農業文書から塩害を分析する研究も過去 30 年間にわたって行われていない。すなわち、古代の土壤劣化について十分な学術的調査が行われないまま、「メソポタミア文明は塩害で滅亡した」(Hillel 1991)とする通説が流布し、ここに重大な環境史の空白が存在する。

2. 研究の目的

(1) 古代イラクで生じた塩害を研究するため、土壤環境変化の転機となった可能性が高いウル第三王朝時代 (紀元前 2112 - 2004 年) 前後に焦点をあてた。この時代は、都市化による人口増加とそれに伴う灌漑の拡大、ならびに遊牧民族の大量移民による土地利用変化等が生じ、それらの要因は相互に影響し合っていたと考えられる。灌漑農業が行われていたイラク南部では、ティグリス・ユーフラテス河の水質の変化と、土壤環境の変化が密接に連動していたと考えられる。ここから、古代の水資源における塩分濃度の変化を復元することを本研究の最重要課題と位置づけた。

(2) イラク南部は政情不安のため、外国の調査隊が現地調査を行なうことが難しい。そこで、現代のイラクで生じている塩害状況とその要因を、衛星画像と水環境の分析から把握することを目指した。土壤塩化は比較的短時間に限定された範囲内で生じ得る。古代に生じていた状況の復元のため、その発生と拡大のプロセスを現在進行中の状況に重ねて推定し、イラクで生じている水環境と塩害の実態の知識を古代の土壤環境変化の復元に活用した。

3. 研究の方法

(1) 粘土板分析：古代の水環境を明らかにするために、河川の堆積土から製作されたと考えられる粘土板文書の胎土分析を行ない、その中に含まれるプロキシデータから、灌漑に使われた水の塩分濃度の変化を復元することを考えた。粘土板には記録がとられた年月日が詳細に記載されていることが多いため、高精度な時間軸上にデータを再現できる可能性がある。その一方で、粘土板そのものが貴重な文化財であるため、収蔵場所から持ち出すことも、損傷を与える分析もできない。そこで、収蔵場所から移動せずに行なえる非破壊分析を中心に行なうこととした。

(2) 生物環境指標：珪藻はその種を特定することにより、生息していた水質 (塩分濃度) を復元することができる有効なプロキシである。粘土板胎土に含まれる珪藻を分析するため、大英博物館に携帯型の金属顕微鏡を持ち込み、表面の観察を行なった。破損して内部の胎土が露呈している粘土板断面を中心に観察し、珪藻が認められた粘土板を撮影した写真を提示して、サンプル採取の申

請を行なった。許可を得て入手できたサンプルについて、SEM (走査電子顕微鏡) を使った直視・加熱水ならびに酸による処理後の SEM 観察・強酸処理後の LM (光学顕微鏡検査法) の方法により分析した。

(3) 化学・物理分析：生物指標を含む粘土板胎土が、粘土板の出土地とされる遺跡に由来する堆積土であることを裏付けるため、携帯型蛍光 X 線分析装置を使って胎土の元素分析を行ない、帯磁率計を使って胎土の帯磁率を測定した。また粘土板表面にシミのように付着する黒色物質について、産地を特定する要因である可能性があるため、携帯型蛍光 X 線分析装置による分析ならびに採取した試料を炭素蒸着した後 EPMA (エネルギー分散型 X 線電子線マイクロアナライザー) を使って化学組成分析を行なった。

(4) コンピュータ・モデリング：現代のイラクにおける塩害の状況を把握するため、衛星画像データを使って分析を行なった。休耕地やリーチング、収穫期調整といった対策が、塩害を回避・軽減するうえでどの程度有効であったかについて、コンピュータ・モデリングを使って分析した。

4. 研究成果

(1) 生物環境指標：大英博物館における調査 (2012 年 3 月) では、金属顕微鏡によってウル第三王朝時代の粘土板 99 枚の表面観察を行なった (2008 年の調査で珪藻の存在を確認した 16

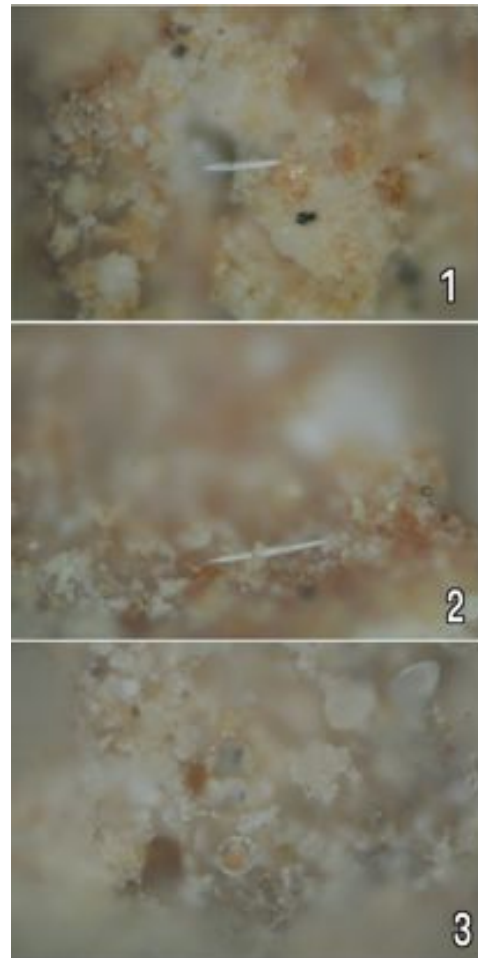


図 1 - 3 顕微鏡で観察された大英博物館粘土板表面の珪藻

枚を含む)。その結果、合計 40 枚の粘土板に珪藻が認められた(図 1)。粘土板の保存状態から、サンプル採取が不可能なもの、採取が望ましくない粘土板について、あらかじめ博物館側から指示があり、それらを除いた合計 32 枚についてサンプル採取の申請を行なった。その結果、最終的に 23 枚について許可が下り、博物館の学芸員の立会いのもと、タングステン針を使った微量サンプル採取(20mg)を行なった。採取された試料は、国立科学博物館植物研究部で分析された。

粘土板に含まれる珪藻の被殻は脆弱であると考えられたため、できるだけダメージを与えない方法で分析した。はじめに加熱水による分離を試みたが、珪藻は確認できなかった。被殻が水に溶けてしまった可能性があるため、次に粉末試料を SEM で直視したが、やはり珪藻は確認されなかった。珪藻がカルシウム化合物によって覆われて見えていない可能性を考え、加熱水で処理した後の試料を酸で処理し、SEM を使って観察したところ、以下の 3 種類の珪藻が観察された。

Nitzschia palea (図 5): 淡水に生息する珪藻で、河川の汚染や富栄養の標式となる種。この珪藻が発見された粘土板(BM28109:ラガシュ出土)は、ウル第三王朝時代に製作され、博物館に収蔵された後、1960 年 1 月に焼成ならびに脱塩処理が施されている。

Stephanodiscus minutulus (図 8): 淡水の浅い湖沼に生息する珪藻。この珪藻が発見された粘土板(BM104703:ウンマ出土)は、ウル第三王朝時代の王アマル・シンの治世 7 年目 8 番目の月第 4 日の日付がある。保存処理については不明。

Discostella (図 9): 淡水の浅い湖沼に生息する珪藻。粘土板(BM104703)同上。

上記 *Nitzschia palea* が観察された粘土板は、脱塩処理が施されており、その過程でコンタミネ

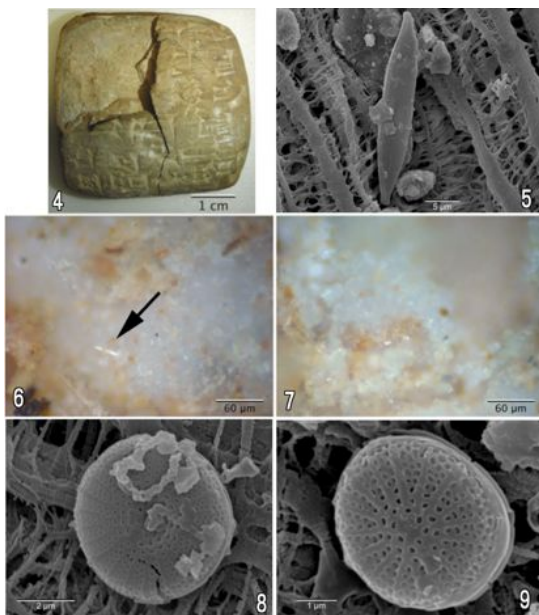


図 4. 粘土板(BM28109)。図 5. *Nitzschia palea*。図 6. 光学顕微鏡で観察された珪藻 *Nitzschia* sp. (粘土板 BM28109)。図 7. 光学顕微鏡で観察された小型珪藻 (粘土板 BM28109)。図 8. SEM で観察された珪藻 *Stephanodiscus minutulus* (粘土板 BM104703)。図 9. SEM で観察された珪藻 *Discostella* (粘土板 BM104703)。

ーションが混入した可能性も考えられるが、同定された珪藻種が生息していたような汚染水が博物館の脱塩処理に使われたとは考えにくい。そのため当初から胎土に含まれていた珪藻である可能性が高い。珪藻分析では、金属顕微鏡で表面観察をした際に多数の珪藻が確認されたにも関わらず、酸処理を経て検出された個体数が非常に少ないことが課題として残された。

(2) 化学・物理分析: 平成 23 年度にエール大学収蔵の粘土板から 150 枚、24 年度に 240 枚、また 25 年度には大英博物館収蔵の粘土板 105 枚をそれぞれ出土地・年代別に選び出し、携帯型蛍光 X 線分析装置(XRF)ならびに帯磁率計を使って非破壊分析した。はじめに同じ粘土板に対して行なった中性子放射化分析による化学組成分析と XRF 分析の結果を比較したところ、As, Cr, Fe, Rb, Sr, Zr の 6 元素について良い相関性が見られ、XRF 分析の有効性が確認された。粘土板の風化や塩類析出、地中に埋もれている間の付加等を考慮し、地域・年代差を考察する上で Rb-Sr ならびに帯磁率-Sr の元素含有量・分布傾向図が有効と考え、分析を行なった。分析の結果、メソポタミア全域の粘土板胎土が大きく二つのグループ(A・B グループ)に分けられ、それは粘土

Sr vs Rb diagram

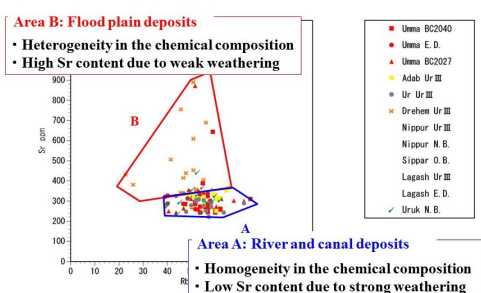


図 10. 粘土板胎土の Sr - Rb 図

板胎土の堆積環境の違いによるものと考えられた(図 10)。A グループは Sr 含有量と帯磁率とともに低く、まとまって分布するもので、河川・運河堆積物から採取された胎土と考えられる。B グループは Sr 含有量と帯磁率が高く、化学組成に広がりがあるもので、氾濫原堆積物から採取された胎土と考えられる。それぞれの特徴と出土した遺跡の位置から、Sr 含有量と帯磁率が風化の度合いを反映し、上流に行くほど水と接触する時間が短いことから風化による影響が少なく、両者の値が高くなると推測された。

粘土板表面に頻りにみられる白色および黒色の物質について分析した結果、白色物質は石膏、黒色物質はマンガン酸化物であることがわかった。後者については、採取したサンプルを切断し、その断面を電子線マイクロアナライザー(EPMA)で分析した結果、黒色部分は粘土板の表面より内側に観察され、黒色部分には Mn の分布が顕著であった。したがって粘土板の黒色物質は、マンガン酸化細菌の活動によって Mn 酸化物が沈着・濃集したため黒色を呈したのと考えられる。これらの研究は、佐々木利基「メソポタミア出土粘土板に対する非破壊調査」早稻田

大学修士論文(2012年2月提出)ならびに渡辺亮太「メソポタミア出土粘土板とその表面に付着した黒色物質に対する研究」早稲田大学卒業論文(2013年1月提出)にまとめられた。

(3) コンピュータ・モデリング: 古代メソポタミアにおける農地の塩害回避・軽減のためどのような手段が有効であったかについて、CORONA・SRTM・ASTERの衛星画像を使って古代の遺跡とそれを取り巻く景観を復元し、土地の排水能力を推定した(図11)。またディヤラ地方をケーススタディとして取り上げ、農地の種類を3つに分類し、モデリングによる分析を行った。その結果、収穫高を改善するためには、農地のタイプ別に異なる休耕策を実践する必要があることが明らかとなり、ここから農地を3種類に分類した。比較的水はけのよい沖積地の場合、1~2年の休耕サイクルを行なう方が、厳密な隔年の休耕よりも良いことがわかった。標準的な農地の場合、2~4年ほどの間土地を休ませるべきである。水はけの悪い盆状構造の農地では、より長い6~7年サイクルの休耕が有効と考えられる。

しかしながら、このような休耕を行なった場合でも、最善のケースで収穫高が29%増加する一

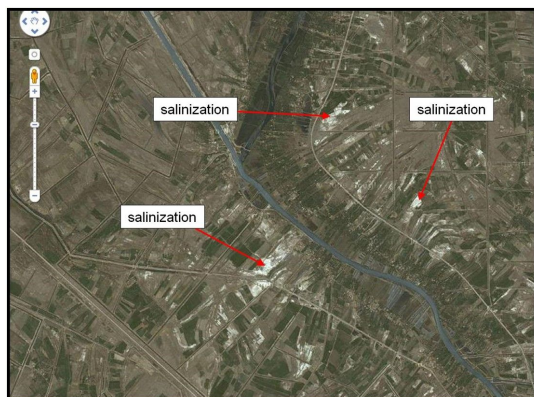


図11. 衛星画像で見る地表の塩類集積

方、良好な状態は比較的限られた期間しか続かず、再び塩害に見舞われることが明らかとなった。特に盆状構造の農地では、6~7年サイクルの休耕を実践したとしても、ひとたび灌漑を行なえば収穫高がすぐに低下した。そのため周囲に代替となる広大な土地が必要だったと推定される。

ケーススタディとして取り上げたディヤラ地方では、大麦の収穫高が低下してもすぐに集落が放棄されることはなかった。しかし、青銅器時代初頭に集落が急激に拡張すると、その後で集落の縮小や放棄が生じている。モデリングによる分析の結果、塩害は10~20年程度の短期間に農地の生産性を下げることが判明した。休耕やリーチングを行なうことによって塩害の影響を軽減することは可能であったが、青銅器時代のある時点で、人口や集落の急激な増加に伴って塩害も進行し、それが持続可能な土地利用の均衡を崩したことが明らかになった。

< 引用文献 >

T. Jacobsen & R. M. Adams 1958. Salt and Silt in

Ancient Mesopotamian Agriculture, *Science* 128, no. 3334, pp. 1251-1258

D. J. Hillel 1991, *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*, New York

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Akihiro Tuji, Anke Marsh, Mark Altaweel, Chikako E. Watanabe and Jonathan Taylor, Diatom analysis of cuneiform tablets housed in the British Museum, *Bulletin of the National Museum of Nature and Science. Series B, Botany*, 査読有, 40 (3), 2014, pp. 101-106.

渡辺千香子・辻彰洋, 古代メソポタミアの粘土板とプロキシとしての珪藻分析の検討、大阪学院大学人文自然論叢、査読有、66号、2013、pp. 51-64.

Mark Altaweel and Chikako E. Watanabe, Assessing the resilience of irrigation agriculture: applying a social-ecological model for understanding the mitigation of salinization, *Journal of Archaeological Science*, 査読有, vol. 39/4, 2012, pp. 1160-1171.

DOI:10.1016/j.jas.2011.12.020

Chikako E. Watanabe, Tablet analysis in the context of paleoenvironmental reconstruction, *Scienze dell'Antichità*, 査読無, vol. 17, 2011 (published 2012), pp. 379-391.

Etsuo Uchida, Toshiki Sasaki and Chikako E. Watanabe, Non-destructive analyses applied to Mesopotamian clay tablets, *Scienze dell'Antichità*, vol. 17, 査読無, 2011 (published 2012), pp. 393-401.

Akihiro Tuji, Kaoru Ogane and Chikako E. Watanabe, Methodology for detecting diatoms on tablets: a biological tool for paleoenvironmental analysis, *Scienze dell'Antichità*, 査読無, vol. 17, 2011 (published 2012), pp. 403-407.

Johannes H. Sterba, Etsuo Uchida, Max Bichler, Toshiki Sasaki and Chikako E. Watanabe, NAA and XRF analyses and magnetic susceptibility measurement of Mesopotamian cuneiform tablets, *Scienze dell'Antichità*, 査読無, vol. 17, 2011 (published 2012), pp. 409-426.

[学会発表](計5件)

Chikako E. Watanabe, Philological and Scientific analyses of cuneiform tablets housed in Sulaymaniyah Museum, Archaeological Research in the Kurdistan Region of Iraq and the adjacent areas, 2013年11月3日, アテネ(ギリシャ).

Etsuo Uchida, Toshiki Sasaki, K. Inoue and Chikako E. Watanabe, Non-destructive analyses of Mesopotamian clay tablets, Assyriological Seminar, Yale University, 2012年9月11日, ニューヘイブン(アメリカ).

Chikako E. Watanabe, A project 'Ecohistory of salinisation and aridification in Iraq': The challenge to reconstruct palaeoenvironment through clay tablets, British Museum Middle

East Lunchtime Lectures, 2012年3月15日, ロンドン(イギリス).

Chikako E. Watanabe, A new project to focus on environmental changes in Mesopotamia: Ecohistory of salinisation and aridification in Iraq, Colloque international rencontre archéologique Irakienne: nouvelles recherches, nouveaux projets, Iraq State Board of Antiquities and Heritage & Institut français du Proche-Orient, Salahaddin University-Erbil, 2011年11月1日, エルビル(イラク).

Chikako E. Watanabe, An innovative approach to tracing environmental changes in ancient Mesopotamia: Ecohistory of salinisation and aridification in Iraq', 57th Rencontre Assyriologique Internationale, 2011年7月4日, ローマ(イタリア).

〔図書〕(計2件)

渡辺千香子 他、弘文堂、イエローベルトの環境史 - サヘルからシルクロードへ、佐藤洋一郎・谷口真人編、2013、pp.22-39.

渡辺千香子 他、河出書房新社、図説メソポタミア文明、前川和也編著、2011、pp.102-123.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.osaka-gu.ac.jp/php/ecohistory/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 千香子 (WATANABE, Chikako E.)
大阪学院大学・国際学部・准教授
研究者番号：40290233

(2) 研究分担者

辻 彰洋 (TUJI, Akihiro)

独立行政法人国立科学博物館・植物研究部・研究主幹

研究者番号：40356267

内田 悦生 (UCHIDA, Etsuo)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：40185020

本郷 一美 (HONGO, Hitomi)

総合研究大学院大学・先導科学研究科・准教授

研究者番号：20303919

(3) 連携研究者

三輪 信哉 (MIWA, Nobuya)

大阪学院大学・国際学部・教授

研究者番号：40145545

高井 啓介 (TAKAI, Keisuke)

東京大学大学院・人文社会系研究科・研究員

研究者番号：00573453