OGU

Osaka Gakuin University Repository

Title	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 Mesopotamian clay tablets and an analysis of diatoms as proxy data
Author(s)	渡辺　千香子 (Chikako E. Watanabe) 辻　彰洋 (Akihiro Tuji)
Citation	大阪学院大学　人文自然論叢（THE BULLETIN OF THE CULTURAL AND NATURAL SCIENCES IN OSAKA GAKUIN UNIVERSITY), 66：51-64
Issue Date	2013.03.30
Resource Type	Article/ 論説
Resource Version	
URL	
Right	
Additional Information	

大阪学院大学　人文自然論叢 ＜論　説＞
第66号　2013年３月

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

渡辺　千香子*　辻　彰　洋**

Mesopotamian clay tablets and an analysis of diatoms as proxy data

Chikako E. Watanabe and Akihiro Tuji

Ⅰ．はじめに

アッシリア学は、古代メソポタミアで使われたアッカド語が解読された19世紀中頃に成立した学問である。以来150年以上の間、楔形文字で書かれた文書が数多く発掘され、その読解が進められてきた学問である。表面に文字を刻んだ土製の記録媒体は、楔形（文字）文書ないしは粘土板（文書）と呼ばれる[1)]。粘土板に書かれた文字や言語の解読によって、古代の文書の内容が明らかになり、それまで知られていなかった古代文明の歴史が鮮明によみがえることとなった。19世紀以降続いてきた粘土板文書の研究では、文書に書かれている言語の分析と解読、ならびにその解釈から古代の歴史・社会・経済・文化等について解明する「文献学」が主流であった。その一方で、粘土板に使われている「土」を対象とした先行研究は、非常に少なく、この分野の研究はこれまでほとんど顧みられてこなかった[2)]。考古学では、土器に使われる胎土の研究が盛んに行われてきたが[3)]、同じく粒度の

* 大阪学院大学
** 国立科学博物館植物研究部

１）楔形文字で書かれた文書は、粘土製の他に石製や金属製のものも存在する。

２）大英博物館等では、科学部門の研究者が粘土板保存のための科学的データを取るため、数多くの分析や実験が行われてきたが、その結果の多くは内部報告書にとどまり、外部に公表されることは稀であった。例外的に公表された研究として以下が挙げられる：Thickett,1998; Thickett & Odlyha 1999.

３）例えば、Perlman and Asaro 1969; Mommsen *et al*. 1995; Schwedt *et al*. 2006; Mühlenbruch *et al*. 2009, など。

細かい土を用いて作られた楔形文書については、これまでごく断片的に、鉱物・化学組成の分析がおこなわれたにとどまる[4)]。粘土板文書を注意して見ると、ひとつひとつの粘土板の大きさや形が異なるほか、粘土板の種類によっても、粘土の色や肌理の細かさに大きな違いがある。粘土板がどのようにして製造されたか、素材のシルト（沈泥）をどこから採集したか、不用になった粘土板をどう処理したか等について、自分なりの考えを有する文献学研究者はいるが、そのような推論はこれまで研究者の間で公に議論されたことがなく、また仮説の検証のために客観的な分析が行なわれたこともなかった。

Ⅱ．研究の目的と背景

筆者たちは、粘土板に使われている胎土について研究するため、大英博物館とアメリカのエール大学において2008年に初めて粘土板の予備的調査を行った（調査の内容については、「VI. 研究の目的と方法」で詳述）[5)]。またこの年、粘土板の製造過程ならびに粘土の分析方法について議論する公開シンポジウム「メソポタミア文明における王朝の興亡と環境―前三千年紀後半の環境と塩害の検証―」を開催した（FS 研究シンポジウム、2008年10月27日、総合地球環境学研究所）。これは粘土板の物理的側面に注目した世界最初の会議となった。会議は、「メソポタミアの環境と塩害」ならびに「粘土板文書の研究」の二つのセッションから成り、後者はさらに「第一部：粘土板の製作方法についての観察と仮説」と「第二部：製作方法と材料の科学的分析方法」に分けられた。発表者は、M. アルタウィール（シカゴ大学：現 UCL）、T. J. ウィルキンソン（ダーラム大学：代読）、M. ヴィデル（リバプール大学）、M. シヴィル（シカゴ大学）、J. シュテルバ（ウィーン工科大学）、G. ゼルツ（ウィーン大学）、J. テイラー（大英博物館）、M. ビヒラー（ウィーン工科大学）、A. M. マクマホン（ケンブリッジ大学）、H. ルキュロー（ベルリン自由大学）、内田悦生（早稲田大学）に筆者たち２名を含めた合計13名だった。この会議を通して、粘土板の胎土分析の重要性と可能性が、初めて国際的に認識されることとなった。

翌年、B. フォスター（エール大学）と M. G. ビガ（ローマ大学）の共同企画により、第55回国際アッシリア学会（RAI：2009年７月パリにて開催）の席上、「粘土板の製造と分析」のワークショップが開催された。これは主要な国際学会の場で、初めて粘土板の物理的側面がクローズアップされた最初の会議となった。また翌年2010年４月には、第７回国際西アジア考古学会（ICAANE：於ロンドン）において、J. テイラー（大英博物館）が粘土板に関するワークショップを企画し、両学会で発表された研究が、ともにローマ大学

4）Artzy *et al*., 1976; Dobel *et al*. 1977; Glasmacher *et al*. 2001; Goren 2000; Goren *et al*. 2003; Goren *et al*. 2004; Goren *et al*. 2007; Goren *et al*. 2009; Goren et al. 2011; Uchida *et al*. 2011.

5）総合地球環境学研究所（京都）の FS 研究の一環として行なわれた。詳細は Watanabe 2011を参照。

発行の学術誌 Scienze dell'Antichitá, volume 17（2011）に集録された。

粘土板文書は、その名称から「粘土」が素材だと考えられがちであるが、土壌学上、粘土板に含まれる粘土鉱物の割合は非常に低い。土の粒子の大きさは、「粘土」の基準となる２ミクロンよりも大きく、正確には粘土ではなく「シルト（沈泥）」と呼ぶにふさわしい。一方で、土壌学の定義とは別に、「粘土」という言葉は、一般に粘り気のある「土」に使われる生活用語でもあるため、この論では広く後者の意味で使用したい。以下、粘土板の科学分析と古代の塩害ならびに古環境（水環境）復元のためにプロキシとして珪藻を分析する可能性について検討する。

Ⅲ．メソポタミアにおける「塩害」研究と問題点

古代メソポタミア史において、塩害による農業の生産高低下が王朝の滅亡を引き起こした可能性が指摘されるのは、紀元前三千年紀末のウル第三王朝（前2112～2004年）の時代である。この時代は、わずか100年足らずの間に、発見されているだけで約９万点という大量の文書が残された特異な時代でもある。これらの文書の多くは、経済・行政文書と呼ばれるジャンルに属する。この王朝が崩壊する紀元前2000年頃を境に、それまで覇権を誇ったシュメールの王朝が衰退し、メソポタミアは大きな歴史の転換点を迎える。転機は、ウル第三王朝時代の末期にかけてアムル人と呼ばれる遊牧民が、ユーフラテス河上流地帯から南部へ大量に移住したことによってもたらされた。移民による混乱の中、首都ウルは飢饉に襲われ、都市ラガシュにおける農作物の収穫高も減少したといわれる。それまで繁栄を誇ったウンマやラガシュらの南部の都市国家は、この王朝の没落とともに衰亡し、かわりにアムル人の築いた王朝であるイシンやラルサ、バビロン等がメソポタミア史に台頭することとなった。

従来の研究では、ウル第三王朝の衰退原因として、穀物収穫高の減少が指摘され、その原因として、深刻な「塩害」の可能性が示唆されてきた。ジェイコブセンとアダムスが、1958年に『サイエンス』に発表した論文は、農地の塩害ならびにシルトの沈積が進行した結果、シュメール農業が衰えて経済が傾き、以後、二度とシュメールの都市が政治的優位に立つことはなかったと論じる（Jacobsen and Adams, 1958; cf. Jacobsen, 1982)。この学説は、１）収穫高の減少、２）耐塩性にまさるオオムギに偏った穀物の栽培、３）エンメテナの運河による過度の灌漑、４）前四千年紀から三千年紀にかけて見られるコムギからオオムギへの移行などをその論拠とする。さらに土壌の塩化を促進させたのが、エンメテナ王の時代（紀元前2400年頃）に造られた新たな運河による大規模灌漑農業だったと推定されている。人類学者のアダムスとアッシリア学・考古学者のジェイコブセンの共同研究であるこの学説は、当時、画期的なものとして受け止められた。

この説を受けて、土壌物理学者のダニエル・ヒレルは、以下のように論じた。

> 古代メソポタミア人は、定期的な休耕や、塩害に弱いコムギからより強い耐性をもつオオムギに変えるなどの方法で塩害に対処しようとしたが、土壌塩化のプロセスは進行し、このため、シュメール・アッカド・バビロニア・アッシリアの各文明は、次々と興っては滅びることなった。(Hillel 2000: 2; cf. Hillel 1994; Hillel 1991: 78–87)

ヒレルは、古代イラクの地において、過灌漑が土壌の劣化を引き起こし、既に紀元前３千年紀末には塩害によって穀物生産高が落ち込み、それによってシュメール経済の凋落、ひいてはシュメール文明の没落を引き起こしたとする仮説を「史実」と見なした（ヒレル 2001:109－110)。それればかりか、メソポタミアで繁栄したアッカド・バビロニア・アッシリアなど他の王朝もすべて塩害で滅亡したと拡大解釈し、「メソポタミア文明の塩害滅亡説」を展開した。

シュメールの没落については議論の余地あるところながら、それ以外の王朝の滅亡原因を塩害に帰する見解は、メソポタミアの歴史展開を知る者にとっては論外である。なぜなら、アッシリアはイラク北部に位置し、灌漑に頼らず天水農耕を行なえる地域に属し、この土地で深刻な塩害が生じたという証拠は、筆者の知る限り、存在しない。また前一千年紀のアッシリアやバビロニアは、巨大な帝国として繁栄し、その領土はシュメールの都市国家とは比べ物にならないほど広大で、帝国経済のしくみも大規模で複雑であった。イラク南部の収穫高の落ち込みが、どの程度、国家体制全体に影響を与えたかについて、一元的な解釈は不可能だと思われる。ヒレルの著作の多くは日本語にも翻訳され、農学の分野では主要なテキストブックとして使われている。そのため、一般に「メソポタミア文明は塩害で滅びた」とする見方が、広く流布する結果となった。

ジェイコブセンとアダムスの研究の後、いくつかの重要な見解が示された。1974年の論文で前川は、ジェイコブセンが扱ったと同じ古代都市ラガシュの経済文書を画期的な方法で分析し、栽培した麦の収量倍率を割り出した。そして既にアッカド王朝時代（紀元前2350－前2150年頃）末期には、穀物生産高の低下が始まっていたことを指摘した（Maekawa 1974)。一方、ギブソンはウル第三王朝時代の人口増加にともなって穀物生産を向上させる必要が生じた結果、耕地を１年ごとに休閑させる伝統的な休耕制度が守られなくなり、その結果、土壌の劣化が引き起こされて穀物生産高が落ちたとする「技術的災害」説を唱えた（Gibson 1974)。またフォスターは、国家が大規模な農業増産改革を進めようとした際に、古くから続いてきた耕地の借地のパターンが無視されたと指摘する。そしてその結果、収穫高の「予想値」に対して、実際の収穫高が減少する傾向はみられるものの、問われるべきは、そのような予想値が現実的であったかどうかだと議論する（Foster 1986)。

このような流れを受けて発表されたパウエルの論文は、これまでにジェイコブセンらが

引用してきた文献の内容を再検討し、穀物生産高低下の根拠として引用された３点の文献のうち、２点までを収穫高と解釈することに大きな問題があると指摘した。パウエルは現代の農業が達成している収穫高などの数値を引用しながら、それまでの研究で不問とされてきたシュメールの収穫高の値が、いかに非現実的な数値であるかを説いた。そして、同じ初期王朝時代のラガシュ出土の文献記録に「塩化した畑にまず水を張り、その後（なにかの）草を植え、（次に）麦を栽培した」という記述があることを指摘し、古代のシュメール人が既に「リーチング」の方法を知っていたと主張した。ここから「古代メソポタミア人が塩害の進行をなすすべもなく放置し、シュメール文明の没落を招いた」とするいわゆる「メソポタミア塩害滅亡論」に大きな異議を唱えたのである（Powell 1985）。リーチングとは、土に多量の水をかけて土の中にたまった塩分を洗い落とす技術のことである。パウエルが引用した文献は、未だまとまった刊行がされていないため、研究者の間でも知られていない。パウエルの批判的学説を最後に、今日に至るまで、メソポタミア研究者の間で「塩害」の問題が再び議論されたことはなく、時代は90年代初めの湾岸危機・湾岸戦争に続く国連安保理事会による制裁の発動、そして2003年のイラク戦争へと突入していった。そして現在に至るまで、イラクでは治安の悪化が続いているため、現地調査が困難な状況に置かれている。

Ⅳ．粘土板分析による研究の目的と方法

上記のように、塩害の可能性について議論されてきたものの、それを実証する研究は未だかつて行われていない。イラクは、1990年以降、湾岸戦争や2003年のイラク戦争による極度の治安悪化で、現在に至るまで全土での現地調査は困難を極める。そのような中、筆者たちはイラク国外にも数多く収蔵される粘土板に注目し、その分析を通じて古環境の変化をたどる挑戦をしようと考えた[6)]。しかし、粘土板に使われている粘土の由来について、確かなことはまだ何もわかっていない。おそらく河川や運河の土手や河原に堆積した粒度の細かい河泥を採取して使っていると推測されている。粘土板の材料が、もしこの推測通り、河や運河の土手ないしは氾濫原に形成された新生堆積物であるならば、それは必然的に当時の水環境を反映する可能性が高いと考えられる。

メソポタミア南部の年間降雨量は200ミリ以下と非常に少なく、農耕は灌漑によって行われた。したがって、河や運河を流れる水は、耕地を潤す水として用いられた。すなわち、そのような水に含まれる塩分の割合が、何らかの理由で上昇した場合、それは必然的に耕地に供給される水の塩分濃度も上昇していたことを意味する。この点において、粘土板の材料の分析と農地における土壌塩化の関連が考えられる。また数ある土製遺物の中で

６）研究を具体化するプロセスについては、渡辺2013を参照。

も、粘土板には文字によるテキスト情報が記されているため、その土の分析に文字情報を活かすことができる点でユニークである。特に、経済文書と呼ばれる粘土板には、記録の取られた「年月日」が記されているものがある。すなわち、このような粘土板は、ある特定の日に書かれた「日付入り土壌サンプル」と見なすことができる。従って、表面に書かれたテキスト、ならびに使われている粘土の「同時代性」を立証することにより、粘土板は古代の年代について、超高精度に特定できる土壌サンプルの可能性を有する。これは、通常の考古調査で扱う層位の年代同定や、およそ100年前後もの誤差が出る炭素14の測定に比較して、格段の精度を誇るものである。

また、古代の環境変化をたどるにあたって、重要なデータは生物指標から得られる。塩害は、広範囲に及ぶグローバルな気候変動だけでなく、地域性の限られたローカルな環境、中でも特に「水環境」に大きく左右される。古環境の復元で一般によく用いられる「花粉分析」は、風媒花粉が多く、草の花粉は限られる。風媒花粉の分布は広範囲に及ぶため、必ずしもローカルな環境の復元に向いているとはいえない。ここで、古代の塩害を調査するにあたって、もっとも注目されるプロキシとして、「珪藻」に着目した。珪藻とは、淡水から海水までひろく分布する藻類で、珪藻の生態は水質（塩分濃度）の影響をつよく受ける。その「種」と、種に対応する水質の特定については、すでに多くの研究が行なわれてきた。珪藻種と塩分濃度を示す一覧表では、淡水にしか生息しない種（例：アウラコセイア・グラニュラータ）から、汽水から海水に生息する種（例：キュクロテラ・チョクタ・ハチアーナ）まで、多様な珪藻の生態が識別される（Fritz *et al*. 1999: fig. 3.2）。また、トルコのアナトリア高原には淡水から強塩性までの湖が分布し、珪藻の研究が進んでいる。トルコは地理的にもイラクに近接するため、古代メソポタミアに生息した珪藻に近い種が生息する可能性も考えられる。長引く治安悪化のため、イラクに生息する珪藻の研究はほとんど行なわれておらず、先行するトルコの珪藻研究がイラクの珪藻研究にとって参考になる可能性も高い。粘土板の土中に存在する珪藻の特定ができれば、古代の河川や運河を流れていた水の塩分濃度を復元するプロキシとして有効な指標になる。

Ⅴ．粘土板素材の由来について

珪藻を水環境特定のためのプロキシとして扱うための前提条件として、粘土板の原材料である粘土について明らかにしておかなければならないことがある。古環境を復元するためには、粘土板の粘土は、太古の地層から採られたものではなく、粘土板と同じ時代に河川に堆積した新生堆積物である必要がある。また、出土地の粘土が使われていることを実証するため、化学組成等の点から科学的に粘土を分析（産地同定）する必要がある（Uchida *et al*.2011; Sterba *et al*. 2011）。もし古い粘土板を何度も水に戻して新しい粘土板が作られるようなリサイクルが行なわれていたとしたならば、粘土そのものの年代と粘土

板に記された年代にずれが生じる。その他、様々な産地の粘土を混ぜて使っていた場合には、ローカルな水環境の復元には障害となる。本研究の観点からは、毎年あらたに堆積した粘土を地元の特定の場所から採取して使っていたことが理想的である。残念ながら、粘土板の製作過程については、これまで何の研究も行なわれてこなかった。これまでに知られる古代の文献資料の中に、粘土板を作る具体的なプロセスが説明されたものは存在しない。一方で、粘土板のリサイクル問題についてはJ. テイラーが最前線の研究を行なっており、それによれば、習字のための「スクール・タブレット」など特殊なジャンルを除いて、粘土のリサイクルが組織的に行なわれた証拠はないとされる（Taylor and Cartwright 2011)。確かに、ウンマ由来の経済文書に記された労働者の日当の記録は、一年間の集計を出す際に使われた後、廃棄されていたため、メモ書き的な性格上、使用した粘土は古い地層から取り出した特殊なものであるよりも、運河の土手など、手軽に入手できる場所から採取された堆積物ではなかったかと推測される。

実際、経済文書に使われた粘土板には、細かい粒子に混じって、大きなチャート（堆積岩）のかけらや陸貝（陸生の巻貝）の殻などが頻繁に点在し、これは水簸によって粒度がよく淘汰されていないことを意味する。また、ウンマは大河の下流に位置するにもかかわらず、多くの場合、大きな粒子の角がとがって摩耗していない特徴が見られる。同時に、細かい粒子と粗い粒子が混在している状況は、土砂が速い水の流れによって形成された堆積土であることを示唆する。ここから、経済文書の粘土板に使われた胎土は、自然に堆積した細かい粒子の泥が、ほとんど手を加えられることなく使われたと推測される。粘土板によっては、陸貝の殻がほぼ完全な形で含まれているものさえあり、このような夾雑物は、もし粘土が組織的に再利用されていた場合には、容易に取り除かれていたはずである。また、新たに堆積した粘土が豊富にある限り、わざわざ乾燥した古い粘土板を水につけて戻すといった面倒なリサイクルをする必要もなかったと考えられる。この問題は、今後、科学的なデータをもとに注意深く検証する必要があるが、現時点で言えることとして、私たちが対象としている経済文書の粘土板では、当初懸念したような胎土の組織的リサイクルはほとんど行なわれていなかったと考えられる。

Ⅵ. 大英博物館における調査（2008年）

2008年夏、総合地球環境学研究所（京都）の予備調査の一環として、大英博物館において初めて粘土板表面の顕微鏡観察を行なった（図１)。対象とした粘土板は、都市国家ウンマならびにギルス（ラガシュ）出土のウル第三王朝時代の経済文書であった。調査開始当時、多数の保存状態の良好な粘土板について、金属顕微鏡を使って観察した。粘土板表面に光を当てて観察すると、鮮やかな青や赤の大小さまざまの粒子が光を受けて輝くのが見えたが、生物らしい姿は見当たらなかった。保存のために焼成された粘土板は、表面に

図１．大英博物館で粘土板表面の顕微鏡観察をする辻 彰洋（2008年８月）

薄いガラス質のようなカルシウム質の膜がかかる。粘土板は、胎土に含まれる多くの塩類のため、乾燥にともなって塩類が析出し、楔形文字の刻まれた表面を破壊する。そのため、焼成した後で「脱塩」のために繰り返し淡水に浸される。その過程で、おそらく表面に珪藻が付着していても失われてしまうのだろうと考えた。

次に、壊れた断面から内部の粘土が露出した粘土板を観察した。その結果、きらきら光る粒子に交じって、銀河系を横から見たような形状の細長い物体が捉えられた（図２）。

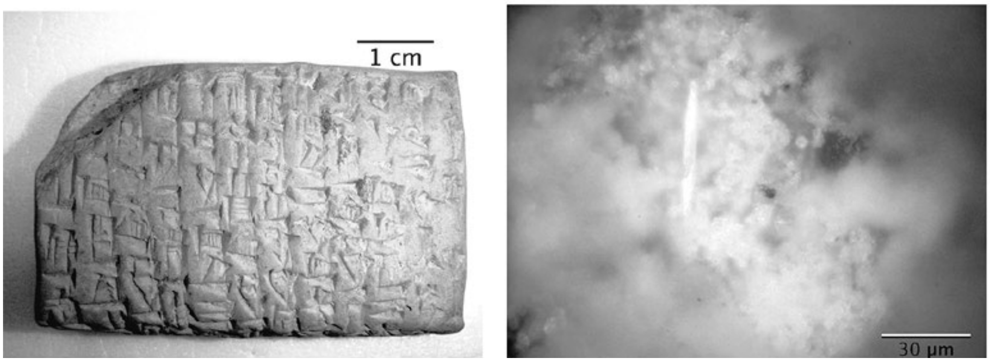

図２．顕微鏡で観察した大英博物館収蔵の粘土板 BM 28091（左）と観察された珪藻（右）
Courtesy of the Trustees of the British Museum.

中心には、背骨のような筋が虹色に光を反射しているものも認められ、これはオパール質に変化した珪藻の葉緑体だと考えられた。このときの調査では、合計54枚の粘土板を扱い、その中から少なくとも10枚に珪藻が認められた。中でも多く観察されたのは、広く「ニッチア」に分類される珪藻で、複数の形態種が識別された。また白く見えた小さなものは、中心型珪藻と呼ばれる丸い筒型の細胞が連なった珪藻である可能性があった。珪藻には、浮遊性のものや岩などに付着するタイプの異なる種があり、同じニッチアでも種の違いによって、強塩性の水から淡水まで広く分布して、その生態が異なる。種を特定するためには、走査電子顕微鏡などを使ってさらに分析する必要があった（Tuji *et al*. 2011）。

Ⅶ. 大英博物館における調査（2012年）

その後、2009年にはエール大学において、同大学収蔵の粘土板を観察してサンプルを採取する許可が得られた。しかし粘土板の保管される図書館が常に振動する状態にあったため、顕微鏡観察は困難を極め、サンプル採取に先立つ表面観察が十分にできなかった。またいくつか実験的に採取させてもらったサンプルからも、その後、珪藻が検出されることはなかった。このため、2011年12月に再び大英博物館に調査を申請し、2008年の調査で珪藻が観察された粘土板からのサンプル採取を申請した。翌年2012年２月に、大英博物館保存・科学部門から許可が下り、再度の調査が可能になった。

第２回目となる大英博物館の調査は、2012年３月に行なわれ、ロンドン大学（UCL）で古代のプラントオパールや珪藻の研究を進めるアンケ・マーシュにも研究協力を依頼した（図３）。調査は初めに、2008年の観察で珪藻が認められた16枚の粘土板の再確認から開始した。これらの各粘土板は、あらかじめ大英博物館側から、それぞれの保存状態によって、①サンプル採取可能な粘土板、②サンプル採取が理想的でない粘土板、③サンプル採取不可能な粘土板、に分類して提示された。サンプル採取が許可されない粘土板が半数以上含まれていたために、追加の粘土板を検鏡して選定する許可を与えられた。新たに、ギルスとウンマ出土の粘土板83枚を顕微鏡で表面観察し、全体の約３分の１にあたる24枚に珪藻や植物遺存物が見出された。最終的に、2008年観察分の粘土板から、「サンプル採取可能」とされた粘土板に「サンプル採取が理想的でない」とされた１枚も加えた８枚、新たに観察したギルスの粘土板６枚、ならびにウンマの粘土板18枚を加えて、サンプル採取を申請した。

サンプル採取の是非については、保存管理責任者２名、ならびに学芸員２名らが申請の審査にあたった。新たにサンプル採取候補となった粘土板だけでなく、2008年の分も再度１点ずつ確かめ、サンプル採取許可の可否について討議された。また実際にどのような道具と方法でサンプルを採取するつもりか示すよう求められ、粘土板の代替物を使ってデモンストレーションを行なった。その結果、最終的に合計23枚（2008年分：７枚、ギルス粘

図３．大英博物館で粘土板の調査をする辻彰洋とアンケ・マーシュ（2012年３月）

土板：４枚、ウンマ粘土板：12枚）についてサンプル採取が許可され、学芸員の立会いのもと、３月16日にサンプル採取が行なわれた。なお、この過程で、「非焼成」だと思っていた粘土板の中に、多くの焼成した粘土板が含まれていることを告げられた。粘土板サンプルの分析は国立科学博物館（植物研究部）で行なわれ、詳細については別に論文として、現在、投稿準備中である。

Ⅷ．今後の課題

楔形文書の粘土中に含まれる珪藻の研究と分析を進める上で、いくつか克服すべき課題がある。第一に、粘土板から発見された珪藻が、粘土板が土中に埋もれていた間や発掘された後の保存処理等で混入したコンタミネーションではないことを、いかに客観的に立証するかである。粘土板は貴重な文化財であるため、むやみに粘土板内部からサンプルを採取しようとして穴を開けることはできない。必然的に、既に破損している粘土板の破損部分から、内部の露出した粘土を観察し、サンプルを採取することになる。しかしながら、この破損部がいつから存在し、どのような処理を経て現在に至るかについては、多くの場合、記録が完備していない。また大英博物館に収蔵されるウンマやギルス出土の粘土板の多くは、19世紀末から20世紀初頭にかけて大量に盗掘され、ディーラーを通じて博物館に収蔵されたものである。この場合、出土後から博物館に収蔵されるまでの間、焼成や脱塩

を含め、どのような処理が施されているかを知ることは不可能である。このように、正規の発掘以外でもたらされた数多くの粘土板に共通する来歴の曖昧さ、ならびに貴重な文化財であるがゆえに生じる科学調査の限界は、珪藻のデータを扱う際に常に直面しなければならない問題として存在する。また、耕地の塩害は、ひとえに灌漑に用いた水の塩分濃度によって引き起こされるとは限らないことから、古代の河や運河の水質変化の復元を、塩害によって引き起こされたかもしれない穀物生産高の衰退にどう結び付けるかは、難しい問題として残る。しかしながら、河川の新生堆積物から観察される水質の変化を、メソポタミアの歴史時代の年代順に復元することができれば、それは塩害のみならず、より大きな環境変化の復元として、多方面に活用できるデータとなる。自然環境変化が社会の変化に直結するとは言えないまでも、塩害が穀物生産高に与えたかもしれない影響とその時代の社会の在り方について考察する際、農業活動や都市生活に不可欠な水資源の変化は、文献資料や考古学のデータと並んで、歴史を再構築するための有効な指標になると考えられる。

謝辞
本研究はJSPS科研費（23310190：「イラクの塩害と砂漠化の環境史」研究代表者：渡辺千香子）・総合地球環境学研究所FS研究費（平成20年度）の助成を受けて行なわれた。

参照文献

Artzy, M. *et al*. 1976: M. Artzy, I. Perlman and F. Asaro, "Alašiya of the Armana Letters," *Journal of Near Eastern Studies* 2, 1976, 171-182.

Dobel, A. *et al*. 1977: A. Dobel, F. Asaro and H. V. Michel, "Neutron Activation Analysis and the location of Waššukanni," *Orientalia* 46, 1977, 375-382.

Foster, B. 1986: "Agriculture and accountability in Ancient Mesopotamia," in H. Weiss, (ed.), *The origins of cities in dry-farming Syria and Mesopotamia in the third millennium B.C.*, Guildford, 1986, 109-128.

Fritz, S. C. *et al*., 1999: S. C. Fritz, B. F. Cumming, F. Gasse and K. R. Laird, "Diatoms as indicators of hydrologic and climatic change in saline lakes," in J. P. Smol and E. F. Stoermer (eds.), *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*, Cambridge, 1999, 186-208.

Gibson, M. 1974: "Violations of fallow and engineered disaster in Mesopotamian civilization," in T. E. Downing and M. Gibson (eds.), *Irrigation's impact on society*, University of Arizona Press, Arizona, 1974, 9-17.

Glasmacher, U. A. *et al*., 2001: U. A. Glasmacher, G. A. Wagner and R. Altherr, "Mineralzusammensetzung altbabylonischer linsenförmiger Tafeln," in W. H. van Soldt, J. G. Dercksen, N. J. C. Kouwenberg and T. J. H. Krispijn (eds.), *Veenhof Anniversay Volume: Studies presented to Klaas R. Veenhof on the occasion of his sixty-fifth birthday*, Nederlands Instituut voor het Nabije Oosten, 2001, 540-546.

Goren, Y. 2000: "Provenance study of the cuneiform texts from Hazor," *Israel Exploration Journal* 50, 2000, 29-42.

Goren, Y. *et al*., 2003: Y. Goren, S. Bunimovitz, I. Finkelstein and N. Na'aman, "The location of Alashiya: New Evidence from Petrographic Investigation of Alashiyan Tablets," *American Journal of Archaeology* 107, 2003, 233-255.

Goren, Y. *et al*., 2004: Y. Goren, I. Finkelstein and N. Na'aman, *Inscribed in clay: provenance study of the Amarna tablets and other Ancient Near Eastern texts*, Tel Aviv 2004.

Goren, Y. *et al*., 2007: Y. Goren, N. Na'aman, H. Mommsen and I. Finkelstein, "Provenance Study and re-evaluation of the cuneiform documents from the Egyptian residency at Tel Aphek," *Ägypten und Levante* 16, 2007, 161-171.

Goren, Y. *et al*., 2009: Y. Goren, H. Mommsen, I. Finkelstein and N. Na'aman, "Provenance study of the Gilgamesh fragment from Megiddo," *Archaeometry* 50, 2009, 763-773.

Goren, Y. *et al*., 2011: Y. Goren, H. Mommsen and J. Klinger, "Non-destructive provenance study of cuneiform tablets using portable X-ray fluorescence (pXRF)," *Journal of Archaeological Science* 38 (3), 2011, 684-696.

Hillel, D. J. 1991: *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*, New York: Free Press. Reissue 1992, London: Aurum Press, 78-87.

Hillel, D. J. 1994: *Rivers of Eden: The Struggle for Water and the Quest for Peace in the Middle East*, New York: Oxford University Press.

Hillel, D. J. 2000: *Salinity Management for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics*, Washington D.C., 2000.

Jacobsen, T. and Adams, R. M. 1958: "Salt and Silt in Ancient Mesopotamian Agriculture: progressive changes in soil salinity and sedimentation contributed to the breakup of past civilizations," *Science* 128, no. 3334, 1958, 1251-1258.

Jacobsen, T. 1982: "Salinity and irrigation agriculture in antiquity, Diyala Basin archaeological projects: Report on essential results, 1957-58," *Bibliotheca Mesopotamica* 14, Malibu, 1982.

Maekawa, K. 1974: "Agricultural production in ancient Sumer: chiefly from Lagash materials," *Zinbun* 13, 1974, 1-60.

Mommsen, H. *et al*. 1995: H. Mommsen, T. Beier, A. Hein, D. Ittameier and C. Podzuweit, "Ceramic production and distribution in Bronze Age settlements in Greece - status report of neutron activation analysis results," *Monographs in Materials and Society* 2, 1995, 513-520.

Mühlenbruch, T. *et al*. 2009: T. Mühlenbruch, J. H. Sterba and D. Sürenhagen, "Neutronenaktivierungsanalysen an Keramik aus Tell Djinderis/Gindaros," *Ägypten und Levante* 19, 2009, 219-227.

Perlman, I. and Asaro, F. 1969: "Pottery analysis by neutron activation," *Archaeometry* 11, 1969, 21-38.

Powell, M. A. 1985: "Salt, seed, and yields in Sumerian agriculture: a critique of the theory of progressive salinization," *Zeitschrift für Assyriologie* 75, 1985, 7-38.

Schwedt, A. *et al*. 2006: A. Schwedt, V. Aravantinos, A. Harami, V. Kilikoglou, M. Kylafi, H. Mommsen and N. Zacharias, "Neutron activation analysis of Hellenistic pottery from Boeotia, Greece," *Journal of Archaeological Science* 33 (8), 2006, 1065-1074.

Sterba, J. H. *et al*. 2011: J. H. Sterba, E. Uchida, M. Bichler, T. Sasaki and C. E. Watanabe, "NAA and XRF analyses and magnetic susceptibility measurement of Mesopotamian cuneiform tablets," *Scienze dell'Antichità* 17, 2011, 403-450.

Taylor, J. and Cartwright, C. 2011: "The making and re-making of clay tablets," *Scienze dell' Antichità* 17, 2011, 291-318.

Thickett, D. 1998: *Characterisation of the clays used to manufacture cuneiform tablets*, The British Museum, Department of Conservation, 1998.

Thickett, D. and Odlyha, M. 1999: “Playing with fire: characterisation of clay types used to fabricate cuneiform tablets and their thermal behaviour during firing-based conservation treatments,” Preprints of the 12th ICOM-CC Triennial Meeting in Lyon, France, August 29 to September 3, (eds.) J. Bridgland and J. Brown, London: James & James Science Publishers Ltd, 1999, 809-815.

Tuji, A. *et al*. 2011: A. Tuji, K. Ogane and C. E. Watanabe, “Methodology for detecting diatoms on tablets: a biological tool for paleoenvironmental analysis,” *Scienze dell'Antichità* 17, 2011, 403-407.

Uchida, E. *et al*. 2011: E. Uchida, T. Sasaki and C. E. Watanabe, “Non-destructive analyses applied to Mesopotamian clay tablets,” *Scienze dell'Antichità* 17, 2011, 393-401.

Watanabe, C. E. 2011: “Tablet analysis in the context of paleoenvironmental reconstruction,” *Scienze dell'Antichità* 17, 2011, 379-391.

ダニエル・ヒレル 2001:『環境土壌物理学 耕地生産力の向上と地球環境の保全』II 巻：耕地の土壌物理 , 農林統計協会 , 2001.

渡辺千香子 2013：「メソポタミアの環境史－自然観・歴史展開・文化の視点から」佐藤洋一郎・谷口真人編『イエローベルトの環境史－サヘルからシルクロードへ』，弘文堂 , 2013, 22-39.