

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24680088

研究課題名(和文) 砂丘堆積物を用いた中世以降の東アジア冬季モンスーン変動の検出

研究課題名(英文) Deciphering the fluctuations of the East Asian winter monsoon since the Medieval Period from dune deposits

研究代表者

田村 亨 (Tamura, Toru)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：10392630

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円

研究成果の概要(和文)：東～東南アジアの冬季モンスーンの中世以降の数～百年スケールの変動を明らかにするため、ベトナムと日本の4つの砂丘地の砂丘堆積物に対して統合地質探査を行った。日本海岸では、10～12世紀と15世紀以降の砂丘活動の活発な時期があり、広域的な気候変動と関連していることが示唆された。南シナ海沿岸の堆積システムへの冬季モンスーンの影響は顕著である。また、ベトナムの砂丘地の横列砂丘では、100年以前の古い堆積記録が悪い。一方で大規模な縦列砂丘の内部構造が冬季モンスーン変動の復元に有用な可能性がある。

研究成果の概要(英文)：An integrated geological and geophysical survey was carried out in four selected dune fields in Vietnam and Japan to clarify multi-decadal- to centennial-scale fluctuations in the East and Southeast Asian winter monsoon since the Medieval Period. Two distinct periods of the dune activity on the Japan Sea coast were inferred to have occurred during the 10-12th centuries and after the 15th century, correlated with the regional climate changes. The winter monsoon was found to greatly affect the coastal sedimentary system of the South China Sea. Transverse dunes in the Vietnamese dune field poorly record the deposits older than 100 years, while the internal architecture of larger longitudinal dunes is possibly useful for deciphering the long-term fluctuations in the winter monsoon.

研究分野：地理学

キーワード：モンスーン アジア 砂丘 海岸 小氷期

## 1. 研究開始当初の背景

アジアの気候はモンスーンの影響を受ける。ただその変動については不明な点が多い。特に冬季モンスーンは、夏季モンスーンのように降水量の代替指標で評価できないため、海底や湖底の堆積物コアに含まれる、ユーラシア大陸からの風成塵の種類や堆積速度の評価から、その変動が推定されてきた。しかし、風成塵の堆積速度は小さく、コアの記録は数百年～千年スケールの長期変動の評価に向いている。一方、今後十～百年といった近い将来の環境変動を予測するには、十～百年の分解能で過去の現象を把握し、その因果関係を理解しなければならない。最近、この視点から過去 1000 年間における環境変動が詳しく検討されている。過去 1000 年間は、中世の温暖期の後、15～16 世紀から 19 世紀まで完新世の中で最大の寒冷期である小氷期があったが、こうした数十～百年スケールの全球的な気候変動の中、東アジアのモンスーンがどう変動し、地域の気候に影響を及ぼしたのかについての定説は存在しない。

海岸や砂漠に発達する砂丘の堆積物は、過去の風成作用を記録している。砂丘の内部構造を連続的に明らかにする地中レーダと、砂丘砂の堆積年代を砂粒から直接決定することのできる光ルミネッセンス (OSL) 年代が発展したことから、過去の砂丘活動を詳細に復元できるようになった。こうした方法により、鳥取砂丘では、小氷期、中でも寒冷であった 17 世紀と 19 世紀に活動的であったことが明らかになっている。砂丘の活動性は、植生や土砂供給量にも依存するが、鳥取砂丘の発達パターンは、中国の文書記録による風成塵の冬季の降下頻度とも相関する。中世の温暖期と小氷期とのコントラストが見られた過去 1000 年間に、数十～百年スケールで冬季モンスーンが変動し、広域的に砂丘砂の運搬・堆積が影響を受けた可能性がある。

日本海で北西風の冬季モンスーンは、東～南シナ海では北東風になる。南シナ海では乾燥した北東モンスーンと、湿った南西モンスーンが、冬と夏で入れ替わり、乾季と雨季とを分ける。ベトナム南部に発達するメコン河三角州では、河川から供給される土砂が、北東モンスーンに駆動される沿岸流で運搬される。メコン河三角州の過去の海岸線を記録する浜堤の形態と OSL 年代を解析から、北東モンスーンによる沿岸流の強まり、もしくは土砂供給の減少が、16～17 世紀ごろ、および 10～11 世紀ごろに認められ、12～15 世紀はその反対の傾向が認められている。土砂供給量などの影響についてさらに考慮する必要はあるが、メコン河三角州の結果は、過去 1000 年間において冬季モンスーンが中世の温暖期や小氷期といった気候変動と関連し、東・東南アジア全域において変動を示していた可能性を示唆している。

小氷期の気候変動による顕著な地形変化の 1 つに、ヨーロッパの砂丘の活発化が知ら

れる。これは、寒冷化で北大西洋の温度勾配が大きくなり、暴風の頻度と強度が増大したという仮説で説明される。北大西洋と北西太平洋の気候は、アリューシャン低気圧とアイスランド低気圧とがシソー関係にあるなど、互いに関連している。他にも小氷期には、カスピ海の海面上昇をはじめ、中央アジアの水収支の変動等も指摘されている。ここで推測される過去 1000 年間の冬季モンスーンの変動は、こうした全球規模の数十～百年スケールの気候変動に付随したものである。

## 2. 研究の目的

本研究では、次の 4 つを明らかにする。

- 1) 過去 1000 年間の砂丘の 3 次元的発達過程、
- 2) 砂丘活動期・発達過程の地域多様性、
- 3) 砂丘発達過程への人間活動の影響、
- 4) 砂丘活動期・発達過程に基づいた冬季モンスーン変動の解明。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために選定した、ベトナムの Mui Ne、鳥取、屏風山、弓ヶ浜半島、の 4 つの地域の砂丘堆積物に、地中レーダ探査、ハンドオーガー・ボーリング、露頭調査、光ルミネッセンス (OSL) 年代測定、を組み合わせた統合探査手法を適用し、過去 1000 年間を中心に砂丘の発達過程を復元する。砂丘活動のパターンとタイミング、さらにその地域間の比較から、数十～百年スケールの冬季モンスーン変動を明らかにする。現地探査ではまず、選定した測線で地中レーダ探査を行って砂丘堆積物の内部構造を明らかにし、OSL 年代測定のための地下試料を効率的に採取する。OSL 年代測定では、砂の埋積時間 (= 堆積年代) を求める。内部構造と堆積年代を組み合わせ、砂丘発達過程を解明する。このための現地調査、年代試料の処理と分析、成果のまとめと発表を行った。

## 4. 研究成果

(1) 鳥取砂丘ではこれまでの調査から 15 世紀以降に砂丘活動が活発になったことがすでに公表されているが、これまでに鳥取砂丘西部で取得した未発表の地中レーダ探査記録と OSL 年代、さらには表面地形などの再検討の結果、10～12 世紀にも砂丘活動の活発な時期があり、12～15 世紀の間は、おそらく不活発であったことが明らかとなった (図 1)。また、最近発表された中国福建省と台湾北東部の、同じく冬季モンスーンに影響されて形成された海岸砂丘の OSL 年代との比較から、こうした間欠的な砂丘活動時期に共通性があり、広域的な冬季モンスーン変動を反映していることが支持された。

(2) ベトナム南東部の Binh Thuan 省には、南シナ海の冬季の北東モンスーンによる砂丘地が数多く発達する。そのうち風向に直交するクレストを持つ横列砂丘が発達する。

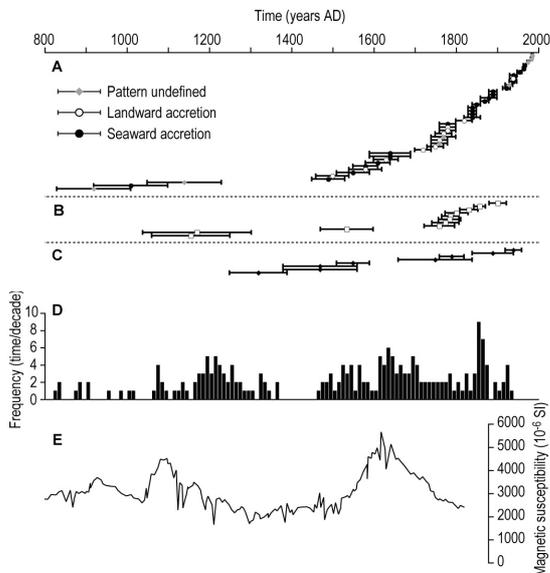


図 1. 鳥取砂丘砂丘の OSL 年代と地中レーダに基づく発達パターンと活動時期 (A), および中国福建省 (B) と台湾北東部 (C) の海岸砂丘の OSL 年代, 古文書記録による中国での冬季風成塵の降下頻度 (D), 中国南部の湖成堆積物の帯磁率から推定される冬季モンスーン強度の変動. Tamura et al. (2016)より抜粋.

乾季(冬季)の終わりである 2013 年 5 月に得られた地中レーダ断面(図 2)では, 砂丘堆積物の層理は冬季モンスーンの風下方向のみに傾き, 所々再活動面(砂丘が一旦停止して再び移動し始めたことを示す構造)が見られることが明らかになった. 雨季(夏季)のモンスーンは相対的に弱く風向きが逆になるが, 砂丘の移動量は小さく, 逆向きの層理は残さず再活動面のみを記録すると考えられる. OSL 年代は, 詳細な調査を行った 3 つの横列砂丘全てにおいて, 風上側の最も古い年代が 100 年前程度であり, 過去 1000 年間の風成活動を復元する本課題の主旨からすると若すぎる. 横列砂丘の移動速度が大きく, 風上側での侵食が激しいため古い堆積物が保存されていない. ただし, 再活動面を挟む層理の連なりは, 乾季と雨季との繰り返しに対応し, より高分解能の風成活動復元に役立つ可能性がある.

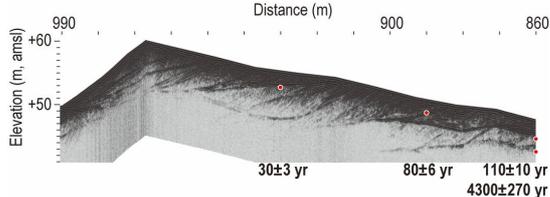


図 2. MuiNe 砂丘の地中レーダ断面と OSL 年代. 左側が冬季モンスーンの風下(西南西).

(3) 屏風山砂丘は青森県津軽平野西縁の最終間氷期の海成段丘の上に発達し, 本州最北端の大規模な海岸砂丘である. 屏風山砂丘の大部分は更新世の砂丘であるが, 海岸侵食により形成された南部の露頭(図 3)では, 完新世の砂丘砂とクロスナ層(有機質砂~泥炭

層)との互層が観察され, それぞれ砂丘の活動期と停滞期を表している.

クロスナ層からは  $^{14}\text{C}$  年代と砂層からは長石 IRSL 年代が得られ, それぞれ誤差範囲を考慮することで整合的な結果となった. これらの年代から, 7~8 世紀以前の停滞期, 10~11 世紀の活動期, 15~17 世紀の停滞期, 15~17 世紀以降の活動期が明らかになった. また, 屏風山北部の五月女菴遺跡では, 平安末期の水田を示す遺跡が砂丘砂により埋積されているが, ここで得られた IRSL 年代でも 10~12 世紀の年代値が得られ, 当時の砂丘活動が屏風山全域で活発になったと考えられる. 年代値の不確定性もあるが, ここでも鳥取砂丘と共通した砂丘活動時期のパターンが見られた. 一方, 最近北海道の噴火湾の堆積物から復元された夏季気温の復元結果には, 低温期に砂丘活動期, 高温期に砂丘固定期, と相関しており, 日本海の砂丘の活動が広域的な気候変動に関連していることが示唆される.

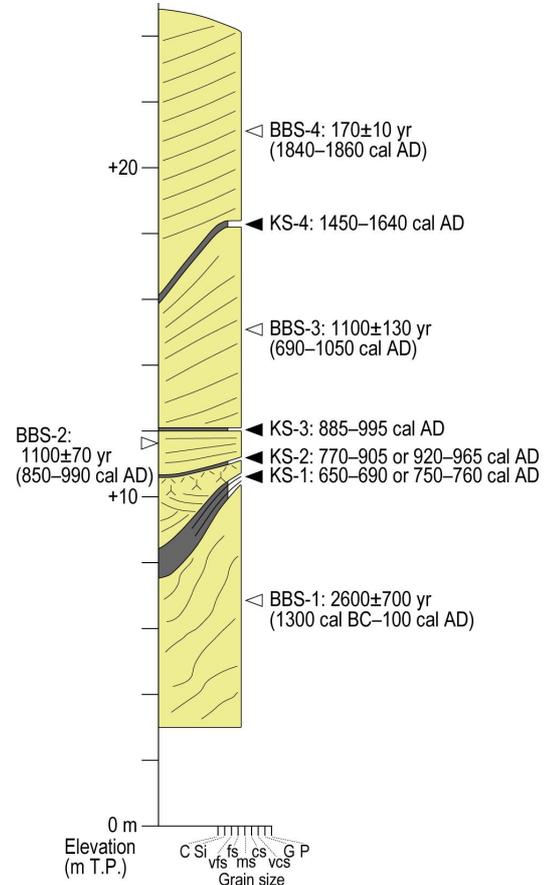


図 3. 屏風山砂丘南部の露頭柱状図と長石 IRSL 年代. 黄色が砂丘砂層, 灰色がクロスナ層を表す. 白抜き矢印が IRSL 年代, 黒矢印が有機物の  $^{14}\text{C}$  年代を示す.

(4) 過去 1000 年間の海岸砂丘の活動において, 人間活動の栄養は無視できない. 弓ヶ浜半島には, 中期完新世以降の海岸線前進に伴い形成された砂丘列が発達している. ここでは戦国時代以降に盛んになった中国山地でのたたら製鉄のための花崗岩の大規模な切り崩しに伴う日野川からの大幅な土砂流出

増加により、砂丘列平野が急激に前進した。たたら以前に形成された砂丘列(内浜・中浜)に対し、たたら以前の砂丘列は外浜と呼ばれる。

地中レーダ探査と長石 pIRIR 年代による砂丘列平野の前進速度(図4)から、17世紀以前は一定の成長速度であったのに対し、17世紀以降のみ急激に拡大していることが明らかになった。外浜は内浜や中浜に比べて鉱物や粒度が大きく異なり、人間活動の影響が顕著なシステムの典型ととらえられる。鳥取砂丘とはシステムの様式が異なるので議論の余地はあるが、ここで見られるように人間活動の影響による土砂流出の増加は一般に海岸線の前進として反映され、海岸砂丘地の面積が広がる一方、個々の砂丘自体は巨大化しない。鳥取砂丘に砂を供給する千代川流域では日野川のようなたたら製鉄は行われておらず、大規模な地形改変の痕跡もない。人間活動による土砂流出の変化はかなり限定的であったと考えられる。

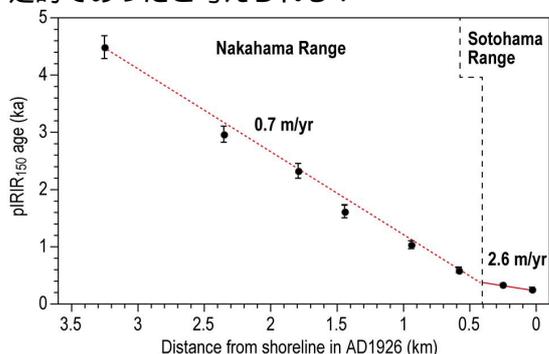


図4. 弓ヶ浜半島北西部の砂丘堆積物の海岸線(1926年時)からの距離と長石 pIRIR 年代との関係から推定される海岸線前進速度。縦軸の単位(ka)は千年前。中浜で4500年前以降安定していた前進速度は、たたらの盛んになった戦国時代以降に急上昇する。

(5) 東～東南アジアの冬季モンスーンが影響する4ヶ所の海岸砂丘地の、主に過去1000年間の堆積記録を明らかにした。

当初の計画では、簡便で精度良い石英 OSL 年代を用いる予定であったが、屏風山、弓ヶ浜の2地域では火山起源の石英が多いことから OSL 年代が有効ではなく、長石の IRSL, pIRIR 年代の有効性の検討から行う必要性があったが、<sup>14</sup>C年代などとの比較と基礎実験から有効であることが明らかになり、上記のような成果につながった。これは、他地域での同手法の適用につながる成果である。

鳥取と屏風山との離れた2地域で共通する砂丘活動期が認められ、それぞれ対応する気候変動も報告されてきている。今後より多数の砂丘地において共通性と多様性を確かめる必要があるが、日本海岸に関しては、広域的で間欠的な砂丘活動の存在が支持される。

南シナ海沿岸は、冬季モンスーンの影響が甚だしく、砂丘の移動速度が大きい横列砂丘では過去1000年間の砂丘堆積物記録をとら

えきれなかった。本課題で調査を行った Mui Ne 砂丘地の東方にはより大規模な縦列砂丘地が存在し、それに本課題と同様の手法を適用することにより、より古い砂丘活動の変遷を明らかにすることができる見込みがある。

#### 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2件)

Tamura, T., Kodama, Y., Bateman, M.D., Saitoh, Y., Yamaguchi, N., Matsumoto, D., Late Holocene aeolian sedimentation in the Tottori coastal dune field, Japan Sea, affected by the East Asian winter monsoon. *Quaternary International*, 397 巻, 2016, 147-158

DOI: org/10.1016/j.quaint.2015.09.062  
田村 亨, 海岸砂丘の光ルミネッセンス(OSL)年代, 号外地球, 62号, 2013, 51-58

[学会発表](計5件)

Tamura, T., The Asian winter monsoon: an agent to modulate coastal evolution?, INQUA Nagoya 2015, 2015年7月31日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

Tamura, T., Massive coastal barrier in SE Vietnam: its recent activity related to the Asian monsoon and sea-level changes, INQUA Nagoya 2015, 2015年7月29日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

田村 亨, 南シナ海の沿岸堆積システムにおけるモンスーンの影響, 日本第四紀学会2014年大会, 2014年9月8日, 東京大学大気海洋研究所(千葉県柏市)

田村 亨, 日本海の海岸砂丘堆積物に記録される過去1000年間の東アジア冬季モンスーン変動, 地球惑星科学連合大会, 2014年9月8日, 幕張メッセ(千葉県千葉市)

Tamura, T., Decadal- to centennial-scale fluctuations of the Asian winter monsoon recorded by Japan Sea coastal dunes, 2013年8月8日, IGU Kyoto Regional Conference, 京都国際会議場(京都府京都市)

[図書](計0件)

[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：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

田村 亨 (TAMURA, Toru)  
産業技術総合研究所地質情報研究部門・主任研究員  
研究者番号： 1 0 3 9 2 6 3 0

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

小玉芳敬 (KODAMA, Yoshinori)  
鳥取大学地域科学部・教授

斎藤文紀 (SAITO, Yoshiki)  
産業技術総合研究所地質情報研究部門・首席研究員

井上卓彦 (INOUE, Takahiko)  
産業技術総合研究所地質情報研究部門・主任研究員

伊藤一充 (ITO, Kazumi)  
産業技術総合研究所活断層・火山研究部門・研究員

小野映介 (ONO, Eisuke)  
新潟大学教育学部・准教授

片岡香子 (KATAOKA, Kyoko)  
新潟大学災害・復興科学研究所・准教授

酒井哲弥 (SAKAI, Tetsuya)  
島根大学理工学部・准教授

Mark D. BATEMAN  
Professor, Department of Geography, The University of Sheffield

NGUYEN Van Lap  
Director, Ho Chi Minh Institute of Resource Geography, Vietnamese Academy of Science and Technology

TA Thi Kim Oanh  
Senior Researcher, Ho Chi Minh Institute of Resource Geography, Vietnamese Academy of Science and Technology