

[20005]

## 石英の ESR 信号強度を利用した碎屑物の供給源・熱履歴推定と 東アジアの古気候復元

### Palaeoclimatic Reconstruction of East Asia Deduced from Provenance Changes and Thermal History of Detrital Material based on ESR Signal Intensity of Quartz

佐久間杏樹<sup>A)</sup>, 多田隆治<sup>A, B, C)</sup>, 吉田知紘<sup>A)</sup>, 長谷川精<sup>D)</sup>, 杉浦なおみ<sup>A)</sup>, 鳥田明典<sup>A)</sup>, Ke Wang<sup>C, E)</sup>,  
Hongbo Zheng<sup>C, F)</sup>, 田近英一<sup>A)</sup>

Aki Sakuma<sup>A)</sup>, Ryuji Tada<sup>A, B, C)</sup>, Tomohiro Yoshida<sup>A)</sup>, Hitoshi Hasegawa<sup>D)</sup>, Naomi Sugiura<sup>A)</sup>, Noriaki Karasuda<sup>A)</sup>, Ke  
Wang<sup>C, E)</sup>, Hongbo Zheng<sup>C, F)</sup>, Eiichi Tajika<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Department of Earth and Planetary Science, School of Science, The University of Tokyo,

<sup>B)</sup> Institute for Geo-Cosmology, Chiba Institute of Technology, <sup>C)</sup> School of Earth Science, Yunnan University,

<sup>D)</sup> Department of Global Environment and Disaster Prevention, Kochi University, <sup>E)</sup> National Museum of Nature and  
Science, Tokyo, <sup>F)</sup> The University of Queensland

#### Abstract

The Tarim Basin is one of the most arid areas in the world and covered by the Taklimakan Desert. However, the timing and mechanism(s) driving its desertification remain controversial. In this study, the electron spin resonance (ESR) signal intensity and crystallinity index (CI) of quartz and clasts composition of fluvial sandstone was examined at the Aertashi section, which is located at the southwestern edge of the Tarim Basin, to identify the timings of tectonic events in the Pamir. Then, these timings are compared to those of the aridification in the Tarim Basin which were estimated based on the loess deposition by previous studies in order to explore the linkage between the uplift of the Pamir and the desertification in the Tarim Basin. Our results suggest that the major provenance changes, which probably reflected the tectonic events, occurred at ca. 27, 20, and 15 Ma. On the other hand, the initial occurrence of sand dune deposits is estimated to have occurred at ca. 34 Ma. Thus, our result does not support the hypothesis that the initial aridification in the Tarim Basin was triggered by the uplift of the Pamir although subsequent tectonic events in the Pamir at ca. 27 Ma might have caused the initiation of loess deposition in the Tarim Basin.

**Keyword:** Tarim Basin, Pamir, electron spin resonance (ESR), quartz

#### 1. 背景

アジア地域の気候は新生代を通じての段階的な全球的寒冷化に加え、ヒマラヤ・チベット高原の隆起によるアジアモンスーンの強化の影響を受けながら変化してきたと考えられている<sup>[1, 2]</sup>。特に気候モデル実験は、ヒマラヤ・チベット高原が、熱力学的に、また障壁として物理的に、大気循環に影響を与えた可能性を示した<sup>[3]</sup>。しかし、それらの仮説に対する地質学的な証拠に元づく検証は十分でない。タリム盆地はチベット高原北西部に位置し、現在ではその大部分がタクラマカン砂漠に覆われており、新生代におけるヒマラヤ・チベットの隆起に伴う乾燥化がアジア地域で最も顕著に起きた地域の一つと推定されている。しかし、タクラマカン砂漠が出来た時期やその成因については、後背地であるパミール高原の隆起による遮蔽効果に伴う水蒸気供給量の減少などの仮説が挙げられているものの、未だ検証が不十分である<sup>[4]</sup>。その要因として、陸成層の高精度の年代層序の確立が難しく、さらに熱履歴の復元などから予想される構造運動の年代の誤差も大きいため、異なるセクション間や指標の間での対比に曖昧さが残り、タリム盆地における乾燥化時期の特定や構造

運動との関係の検証が難しいことが挙げられる。

本研究では、年代層序の問題を克服する手段として、古地磁気層序により、すでに精度の高い年代層序が確立しているタリム盆地西南縁部 Aertashi セクションにおいて、始新世後期から中新世中期にかけて堆積した河川成細粒砂岩に着目した。まず、碎屑物粒度分析を行い、岩型や推定される運搬機構について調べた。そして、Isozaki et al. (2020)<sup>[5]</sup>により、河川運搬によって供給されたと考えられる粗粒画分 (64-500 $\mu\text{m}$ ) 中の石英について、後背地に露出する岩石の種類やその変化を反映すると推定される電子スピン共鳴 (ESR) 信号強度測定、結晶化度 (CI) の測定を行うと共に、薄片観察によって母岩種の変化も調べた。そして、予想される大規模な構造運動が起きた時期と、風成塵の混入から示唆される乾燥化が進んだ時期を比較し、両者の関連性を検証した。

#### 2. 研究地域の層序

Aertashi セクションは下位から順に Wulagen 層、Bashibulake 層、Wuqia 層群、Artux 層、Xiyu 層に区分されている (図 1)。Wulagen 層は約 41Ma 以前に Paratethys 海浅海域で堆積したとされる石灰岩や細

[20005]

粒砂岩からなる層であり、本研究ではこの地層は対象としていない。Bashibulake 層は約 41~34Ma に陸域に堆積した赤色砂岩と赤褐色泥岩の互層で特徴付けられる地層であり、海岸近くの湖から、乾湖を経て、氾濫源へと堆積場が変化すると解釈されている。Wuqia 層群は約 34~24Ma に堆積した赤色砂岩と赤褐色泥岩の砂勝ち互層で特徴付けられ、最下部では大型斜交層理を持つ砂丘堆積物が見られ、堆積場は主に氾濫源と解釈されている。Artux 層は約 24~15Ma に堆積し、下部は礫岩を頻りに挟在するピンク砂岩主体の砂泥互層を主とし、扇状地末端で堆積したと解釈されている。上部は細粒砂岩と泥岩の互層で特徴付けられ、氾濫源堆積物と解釈されている。Xiyu 層は約 15Ma 以降に堆積した地層で、厚さ数 km に及ぶ礫岩層を主とし、稀に砂岩を挟在することで特徴付けられ、扇状地中部~末端で堆積したと解釈されている。年代層序は Zheng et al., (2015)<sup>[6]</sup> が火山灰年代、古地磁気、生層序データを基に作成されたものを用いた。

### 3. 結果

砕屑物の粒度分析を行った結果、Aertashi セクションの河川成細粒砂岩の粒度分布が、すべて三つの正規分布の合成で表されることが分かった。三つの正規分布はそれぞれ異なる機構で堆積した粒子の集合を反映すると想定される<sup>[6, 7]</sup>。

河川によって後背地から供給されたと考えられる

粗粒画分の ESR 信号強度と CI の測定の結果、Aertashi セクションでは河川成堆積物の供給源変化が6つのステージに分けられることが分かった(図1)。ステージ 1(約 41-34Ma)の ESR 信号強度は 5.4 から 11.2 の値を示し、CI は 7.16 から 8.06 の間でばらついた値をとる。ステージ 2(約 34-27Ma)の ESR 信号強度はステージ 1 とほぼ同じ 6.7 から 11.8 の間の値を示すのに対し、CI は少しずつ上昇し、7.83 から 8.26 の値をとる。ステージ 3(約 27-20Ma)では ESR 信号強度が急激に上昇して 13.0 から 18.7 の値をとり、CI は 8.04 から 8.39 の比較的狭い範囲の値で安定する。ステージ 4(約 20-17Ma)の ESR 信号強度は 7.4 と 18.5 の間で大きく振動し、一方 CI はほぼ変化せず、8.04 から 8.41 の値で安定している。ステージ 5(約 17-15Ma)の ESR 信号強度は 9.0 から 12.6 の狭い範囲に収束し、CI は 8.01 から 8.44 とステージ 4 とほぼ同じ値をとる。ステージ 6(約 15Ma 以降)に入ると ESR 信号強度は急激に減少して 4.0 を示し、CI もやや減少して 7.98 を示す。

薄片観察で Aertashi セクションの河川成細粒砂岩に含まれる鉱物・岩片種を調べた結果、碎屑性堆積岩、珪質岩、石灰岩、片岩、変質珪質岩に加え、Xiyu 層から採取された試料では火山岩の岩片が見出された。さらに、代表的な 7 試料について粒子組成を詳細に調べた結果、Bashibulake 層、Wuqia 層群、Artux 層で採取された試料は、相互に比較的似た組成を示したが、Xiyu 層から採取された試料は、他の層準と

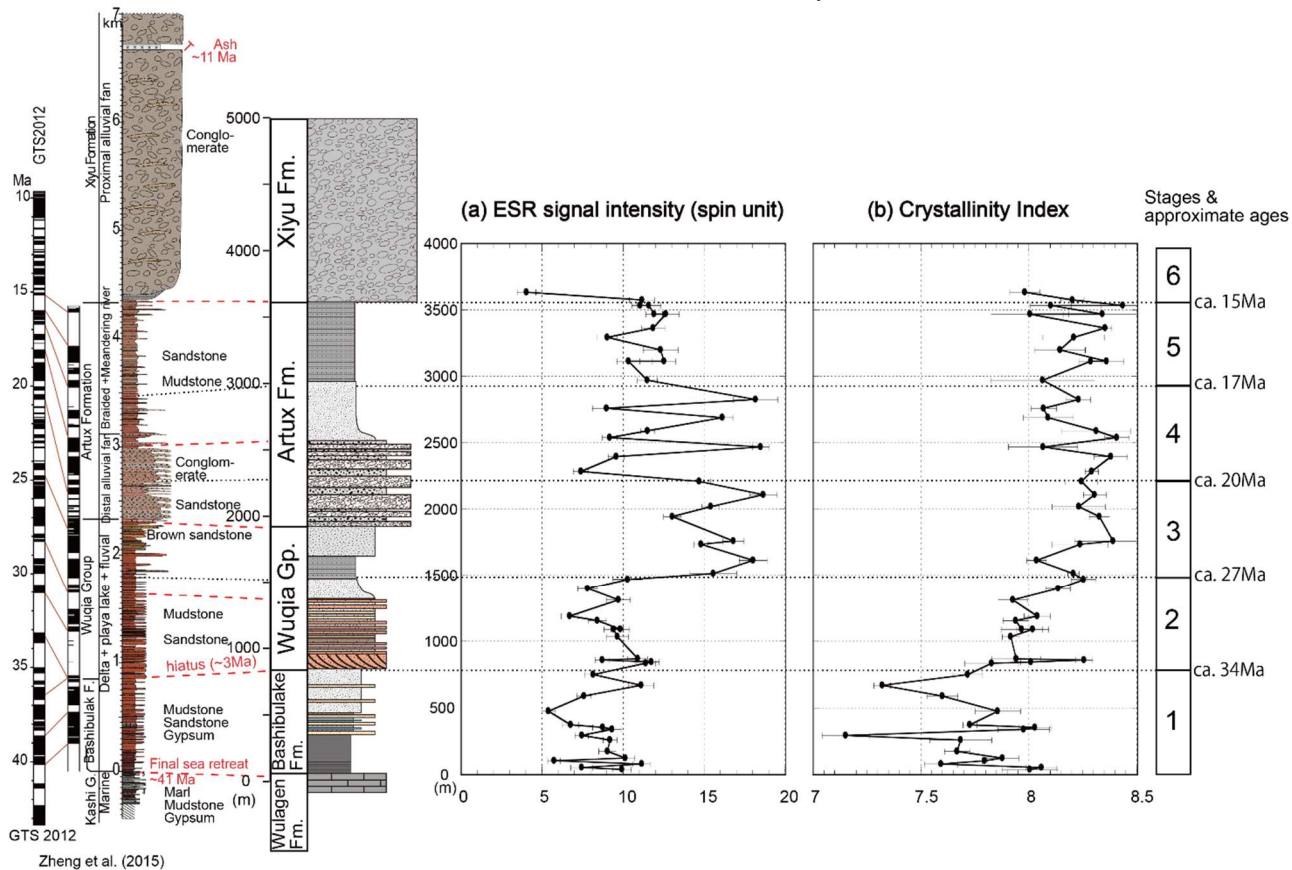


Figure 1. Temporal changes in the ESR signal intensity and CI of the Aertashi section<sup>[11]</sup>.

[20005]

比べて異なる特徴を示した。具体的には、岩片の占める割合が高く、より多くの種類の岩片（特に火山岩片）を含み、相対的に高い割合の黒雲母や苦鉄質鉱物を含むというような違いが見られた。このことは、Artux 層と Xiyu 層の境界前後(約 15Ma)で供給源が大きく変化をしたと解釈され、大規模な構造運動が起きた可能性を強く示唆する。

#### 4. 考察

ESR 信号強度、CI、薄片観察の結果から、ステージ 1 と 2 の境界(約 34Ma)では安定した供給源が存在したと推定される。ステージ 2 と 3 の境界(約 27Ma)ではより古い年代を持つ岩石起源の碎屑物の供給が始まる。この時期は北部パミールにおける削剥速度の増加<sup>[8]</sup>、パミール高原の北に位置する天山山脈における断層運動の開始<sup>[9]</sup> など構造場の変化が報告されており、構造運動に伴う供給源変化が起きた可能性が高い。約 20Ma から始まるステージ 4 はステージ 3 からステージ 5 へ供給源が変化をしている遷移状態を表すと考えられる。ステージ 5 から 6 の境界(約 15Ma)では氾濫原から扇状地中部へと堆積場の急激な変化が起きており、また火成岩の供給が始まることから、Aertashi セクションの近傍で急激な構造運動が起き、それに伴って河川流路がジルコン年代分布の大きなピークが見られる三畳紀の火成岩が露出する北部パミールテレーンと中央パミールテレーンの境界付近まで達したと推定される<sup>[10]</sup>。

以上の結果をまとめると大規模な構造運動はステージ 2 と 3 の境界、ステージ 3 と 4 の境界、ステージ 5 と 6 の境界で起きたと考えられる。一方で、風成層の出現から予想される初期の乾燥化が起きた時期はステージ 1 と 2 の境界付近であることから、この時期の乾燥化はパミール高原の隆起よりもむしろ始新世・漸新世境界における全球的な寒冷化の影響を受けた可能性があることが示唆された。

#### 参考文献

- [1] Tada R, Zheng H, Clift PD. Evolution and variability of Asian monsoon and its potential linkage with the Himalayas-Tibetan Plateau uplift. *Prog Earth Planet Sci*. 2016;(July): PEPS-D-15-00036R1. doi:10.1186/s40645-016-0080-y
- [2] Kutzbach, J., Prell, W., & Ruddiman, W. (1993). Sensitivity of Eurasian Climate to Surface Uplift of the Tibetan Plateau. *The Journal of Geology*, 101(2), 177-190.
- [3] Wu G, Liu Y, He B, Bao Q, Duan A, Jin FF. Thermal controls on the asian summer monsoon. *Sci Rep*. 2012; 2:1-7. doi:10.1038/srep00404
- [4] Sun J, Liu W, Liu Z, Deng T, Windley BF, Fu B. Extreme aridification since the beginning of the Pliocene in the Tarim Basin, western China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*. 2017; 485:189-200. doi:10.1016/j.palaeo.2017.06.012
- [5] Isozaki Y, Tada R, Sun Y, et al. Origin of aeolian dust emitted from the Tarim Basin based on the ESR signal intensity and crystallinity index of quartz: The recycling system of fine detrital material within the basin. *Geol Mag*. 2020;157(5):707-718. doi:10.1017/S0016756820000242
- [6] Zheng H, Wei X, Tada R, et al. Late Oligocene-early Miocene birth of the Taklimakan Desert. *Proc Natl Acad Sci*. 2015;112(41):E5558-E5559. doi:10.1073/pnas.1517735112
- [7] Sun D, Bloemendal J, Rea DK, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components. *Sediment Geol*. 2002;152: 263-277. doi:10.1016/S0037-0738(02)00082-9
- [8] Amidon WH, Hynek SA. Exhumational history of the north central Pamir. *Tectonics*. 2010;29(5):1-13. doi:10.1029/2009TC002589
- [9] Bande A, Sobel ER, Mikolaichuk A, Acosta VT. Talas - Fergana Fault Cenozoic timing of deformation and its relation to Pamir indentation. *Geol Soc London, Spec Publ*. 2015;427:295-311. doi:10.1144/SP427.1
- [10] Blayney T, Najman Y, Dupont-Nivet G, et al. Indentation of the Pamirs with respect to the northern margin of Tibet: Constraints from the Tarim basin sedimentary record. *Tectonics*. 2016;35(10):2345-2369. doi:10.1002/2016TC004222.
- [11] Sakuma, A., Tada, R., Yoshida, T., Hasegawa, H., Sugiura, N., Karasuda, A., Wang, K., Zheng, H. "Relationship between tectonism and desertification inferred from provenance and lithofacies changes in the Cenozoic terrestrial sequence of the southwestern Tarim Basin". *Progress in Earth and Planetary Sciences*. (accepted)