

長石の熱ルミネッセンス特性から推定した広域的な土砂移動特性

Study on the Macro-scale Sediment Movement Characteristics based on Feldspar Thermoluminescence Features

小川裕貴¹・劉海江²・高川智博³・佐藤慎司⁴

Yuuki OGAWA, Haijiang LIU, Tomohiro TAKAGAWA and Shinji SATO

Investigation on the sediment movement characteristics in a broad area with a 150 kilometer stretch along the Enshunada Coast and the Suruga Bay was conducted based on feldspar thermoluminescence (TL) properties. River sand grains (primary source) present a higher TL signal than beach sand. Along the nearshore area, local TL intensity peaks are observed at the river mouth and the intensity gradually decreases with increasing distance from the river mouth, which indicates longshore transport features. Taking the spatial distribution of TL intensities into account, a quantitative estimation on the longshore sediment flux was carried out based on the total river sand discharge. Identification of coastal sand source was achieved in terms of the profile and magnitude of the measured TL glow curves.

1. はじめに

海岸線の後退は近年全国的な問題になっており、特に天竜川の注ぎ込む遠州灘沿岸域は、深刻な海岸侵食に悩まされている。この地域の土砂供給源である天竜川は、運搬土砂量が $3.8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$ で日本一の量を誇っていたとされているが(芦田ら, 1983), 20世紀に上流部に大規模ダムが建設され、河川からの土砂の供給量が減少したことが、侵食の原因のひとつと考えられている。また、みなとの防波堤や導流堤も沿岸漂砂の連続性を遮断し、侵食を加速させている。これらの問題に対処するために、海岸部では養浜や離岸堤・消波堤などの建設が行われており、砂浜の保全が行われているが、漂砂のさらに下手側の海岸に侵食域が進むなど、問題の根本的な解決がさらに必要である。

本研究では、研究対象地域である大井川から遠州灘において、広範囲に渡るサンプルを熱ルミネッセンス(Thermo-Luminescence: TL)測定法によって分析し、地形データからの逆算などの間接的な手法でなく、砂粒子自体を調査する直接的な手法を用いて、天竜川や大井川から供給された土砂の移動形態や輸送過程の推定を試みる。伊良湖岬から大井川までという広い範囲で現地の砂サンプルを採取し、そこから得られたTL測定データを元に広域的な土砂の動態を分析することで、海岸侵食の問題を食い止めるための一助になることを目的とする。

2. 熱ルミネッセンス現象の概要

Thermo-Luminescence (TL) とは、鉱物に熱が加えられることによって発光する現象である。石英や長石は自然状態で、ウランやカリウムといった放射性物質から発せられる放射線や、宇宙から飛来する宇宙線に曝されている。これらの放射線は、鉱物の結晶内に放射線損傷をもたらし、これにより鉱物結晶内には不対電子とホールができ、電子は励起状態に保持される。この状態で光や熱エネルギーが加えられると、不対電子にエネルギーが与えられることで、励起状態から更にエネルギーの高い伝導帯へと引き上げられ、その後基底状態へと回復する。この時に減少した分のエネルギーが、蛍光として発せられる(Aitken, 1998)。

TL信号の強度は鉱物内の不対電子量に比例し、不対電子量は鉱物の放射線被曝量に比例する。鉱物内の不対電子量は光に当たることで減少するので、不対電子が蓄積され得るのは、砂粒子が埋積して光に当たっていない時のみということになる。またTL信号は、粒子が数秒から数分間露光しても、完全に消えてしまう(ブリーチする)ことがない。露光してもブリーチに時間を要するということは、侵食・運搬過程での露光状態の差異に応じて表れる。TL信号強度の減少率を比較しやすいということでもある。前述したように、TL信号は砂粒子が埋積している間に増加し、露光に伴い徐々に減少するため、このTL信号強度の差異は、地中に埋積して露光していない粒子が、侵食などの影響で表面に露出し、流砂や漂砂での輸送過程で露光されるようになってからの、時間の差異だと考えることができる(図-1)。この性質を利用して、砂サンプルのTLデータからの、土砂動態分析を

1 正会員 修(理) 清水建設(元 東京大学大学院修士課程工学系研究科社会基盤学専攻)
2 正会員 博(工) 東京大学特任助教 工学系研究科社会基盤学専攻
3 正会員 博(理) 東京大学助教 同上
4 フェロー 工博 東京大学助教 同上

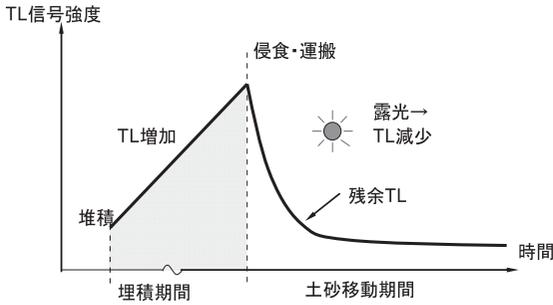


図-1 TL信号強度の概要

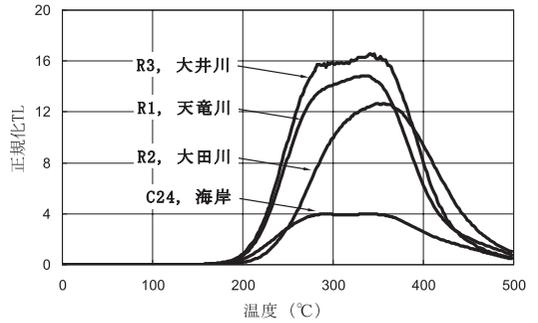


図-3 各河川と海岸部のTLグローカーブ

試みるのが本研究の目的である。

3. 対象地域と手法

本研究では、海岸侵食に悩まされている天竜川・遠州灘流砂系の遠州灘と、その東に位置する大井川河口までの広域を研究対象範囲とし、土砂の移動特性を推定した。

サンプルの採取は、海岸線では4kmから5kmおきに1地点の割合で行い、河口部や港湾、離岸堤などの構造物周辺ではその両端など、より高い密度で行った。また河川においても河床のサンプルと海食崖のサンプルを採取した。サンプル採取を行った地点を図-2に示す。以降、サンプルは図-2中の番号で参照する。

採取したサンプルから180-300 μmの砂をふるいわけ、15%過酸化水素水で有機物を、18%塩酸で炭酸塩を除去した。その後、比重2.58の重液で比重2.53-2.58のカリ長石に富む軽い成分を抽出した。この長石粒子をステンレスディスクに単層固定し、Risø TL/OSL Reader DA-20でTL強度を測定した。

測定は岸本ら(2008)に基づいて行い、180度で予熱処理を施した後に、摂氏0-500度の範囲でTLグローカー

ブを測定した。このサンプルの自然状態のTL信号強度と、β線10.8Gy照射後に測定した基準TL信号強度との比により、正規化TL信号強度を求めた。

4. 測定結果と考察

(1) 河川と海岸のTLグローカーブ

天竜川、太田川、大井川の河道内のサンプルと、海岸域の地点C24で採取したサンプルとのTL測定結果は以下の図-3のようになっている。測定結果は横軸の温度と縦軸の正規化TL信号強度との関係で表され、この温度応答曲線をグローカーブと呼ぶ。

図から河川では一様に高い値を取り、海岸部ではより低い値を取ることが分かる。これは土砂生産源により近い河川よりも、運搬の下手側である海岸部の砂の方が露光の機会が多く、それに伴ってTL信号強度が減少するからである。同様の結果は岸本ら(2008)でも述べられている。

(2) 天竜川からのTLグローカーブ

天竜川河口から東にかけてのTL信号を示したグローカーブは図-4のようになっている。このグローカーブが

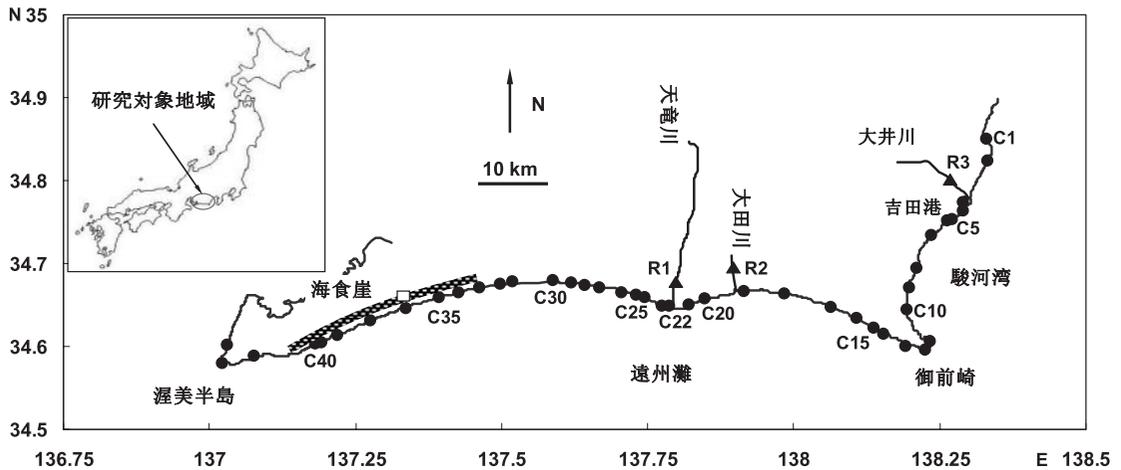


図-2 サンプル採取地点

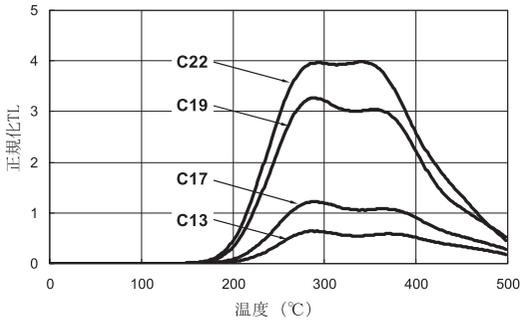


図-4 天竜川左岸のTLグローカーブ

らTL信号強度は、天竜川河口部を最大として、天竜川から離れるに従って、徐々に小さくなっていくという傾向が見て取れる。また天竜川から西に向かっても同様に河口から減少していくという傾向を示している。河口から離れるほど、移動に時間がかかり、その間に露光してTL信号強度が減少するためである。土砂供給河川から離れるに従ってTL信号強度が小さくなるという結果は、Rink (2003) の結果とも整合する。

(3) 全地点でのTL信号強度

各地点で求められたTL信号強度を比較するために、地点ごとのグローカーブの平均値を求めることで、TL信号強度の大小を示したのが図-5である。平均を取る温度としては、いずれのグローカーブにおいてもピークを示している温度として、260度から380度間の平均を求めた。なお、横軸のマイナスは天竜河口の西側、プラスは東側とし、図中の地名はそれぞれの大まかな位置を示している。この図から読み取れる事柄について以下に並べていく。

i) 供給河川から離れるほどTL信号強度は小さくなる。前述した通り、天竜川や大井川のような土砂供給河川

から離れるに従って、TL信号強度も減少する。これは河川から供給された土砂が移動に伴い露光するためである。河川から十分に離れた後は、TL信号強度は一定値を示すようになり、それ以上は、有意な減少は生じない。これは図-1のTL信号強度の減少特性とも整合している。

ii) 太田川からの土砂供給量は小さい。

天竜川と大井川周辺では、土砂の供給に伴って非常に大きなTL信号強度を示している。これに対して太田川周辺では、周りと比べても大きな値を取ることがなく、河川による影響は見られない。このことから太田川の土砂供給量は、天竜、大井の両河川に比べて小さいことが分かる。

iii) 河口付近ではTL信号強度のばらつきが大きい。

河口から十分に距離を置いた地点ではTL信号強度は安定しているが、天竜川などの河口付近では大きなばらつきが見られる。これは河口の砂は露光状態にばらつきがあるのに対し、海岸部は波の影響で露光状態が均一化することが原因と考えられる。また河口付近の砂は河川の砂と海岸の砂とが混ざっているため、これも原因であると思われる。河道内のばらつきは岸本ら (2008) でも言及されている。

iv) 天竜川と大井川の土砂供給範囲は異なる。

大井川では河口から少し離れるだけでTL信号強度は激減するが、天竜川ではこの減少量は小さい。これは天竜川の土砂供給範囲が、大井川よりも広く、供給量も多いことを示している。この原因としては、大井川から供給された土砂が、勾配の急な駿河湾に落ち込んでしまうため、沿岸漂砂として運ばれにくいことにもよると考えられる。

v) TL信号強度と距離の関係から土砂供給量の比の概算が可能である。

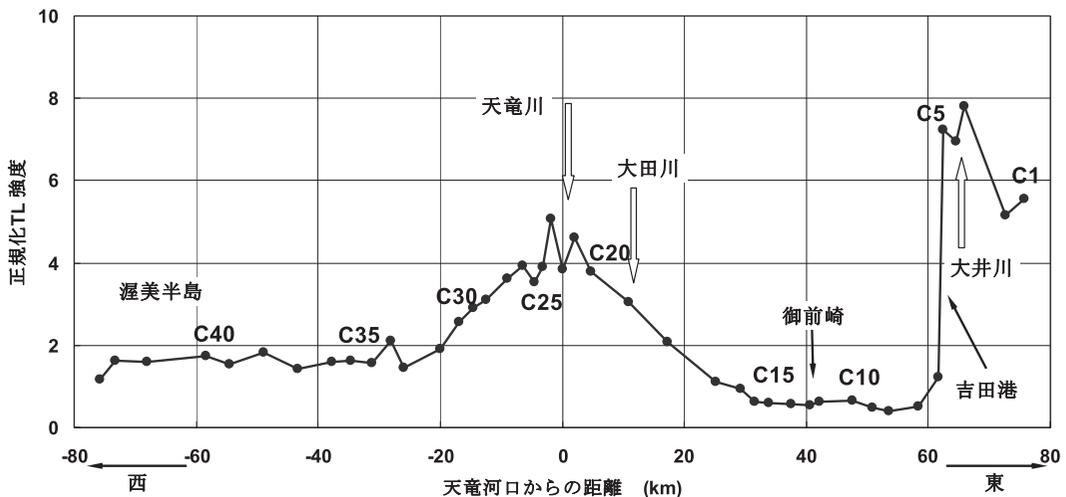


図-5 各地点のTL信号強度

表-1 図-5から求めた沿岸漂砂量の概算値

		勾配 (TL/km)	沿岸漂砂量 (万m ³ /年)	地形測量からの 推定値 (万m ³ /年)
天竜川	右岸	0.150	15.1	×
	左岸	0.151	14.9	×
	合計	×	30	×
大井川	右岸	1.056	2.6	×
	左岸	0.227	11.9	13.7
	合計	×	14.5	14.5

沿岸漂砂量は、移動する漂砂の体積と速度とを乗じた量として定義される。移動速度は移動に要する時間に反比例するため、土砂供給源からの運搬時間に関係する値であるTL信号強度の減少量からその特性を推定することが可能であると考えられる。すなわち、図-5のTL信号強度と河口からの距離との勾配の比を求めることで、河川から供給される土砂量の左右両岸における沿岸漂砂量の比を求めることが可能になる。

天竜川では左岸と右岸の勾配の違いはほとんどないため、沿岸漂砂量は両岸でほぼ等しいと見られる。一方、大井川でこの比を求めると、右岸と左岸に供給される土砂量の比が1.5程度となる。図-5をもとに算出した沿岸漂砂量を表-1に示す。大井川からは主に左岸側に輸送されるという結果になったが、実際に大井川河口周辺の波向は北向きが多く、大井川水系河川整備基本方針(2006)で深浅測量から得られたデータでも、全供給土砂量14.5万m³/年のうち、左岸側に13.7万m³/年と卓越して輸送されていることが示されており、TL強度分布から沿岸漂砂の特性が定量的に推定できることが確かめられた。

(4) 土砂供給源の判別

i) 天竜川兩岸のTL信号強度の最小値は異なる

天竜川から離れると、TL信号強度は小さな値を取り、ある程度離れると一定値を取るようになるが、この最小値は両岸で異なり、西側では1.6程度なのに対して、東側では0.6程度の値を取っている。西側TL信号強度は自然状態でもっと小さくなるが、原因を解明するために、

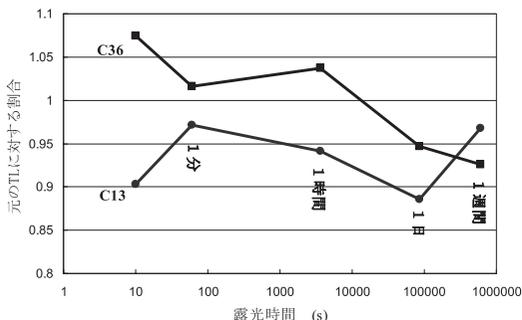


図-6 sunbath試験の結果

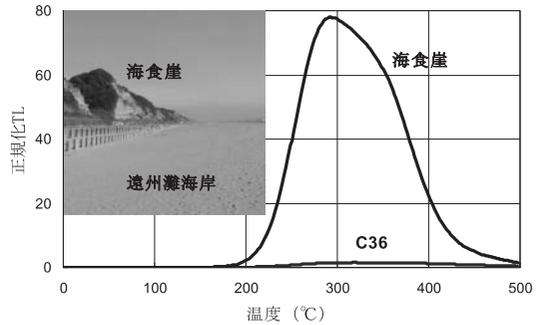


図-7 海食崖と海岸のグローカーブ

Sunbath試験を行い、現地サンプルを採取した。

この確認のために、東側の地点C13と西側の地点C36で取ったサンプルのSunbath試験を行った。Sunbath試験とは、様々な時間自然露光させたサンプルを用意し、それぞれのTL信号の減少量を測定することで、露光に対するTL信号の特性を調べるといった試験である。結果を以下の図-6に示す。

この結果から、東側のサンプル(C13)は信号強度が変化しないのに対し、西側のサンプル(C36)は十分な露光があれば、徐々にではあるが信号強度は弱まることが分かる。このことから、西側の平均TL信号強度が高いまま保持されているのは、これ以上下がらないわけではなく、東側に比べると日光に露光しにくいため、もしくは他の高いTL信号強度を有する砂と混合することが原因だと考えることが出来る。

高いTL信号強度を持つ砂との混合があるとすると、考えられるのは海食崖(図-7)の侵食による混合である。海食崖を構成する砂は高いTL信号強度を取っており、なおかつ広い範囲で連続して存在している。この海食崖の広がる範囲は、TL信号強度が1.6程度で安定している範囲と一致しており、このことから海食崖は侵食によって高いTL信号を持つ砂を海岸に供給しているということが示唆された。

ii) 河川ごとにグローカーブの形状が異なる

ここまではグローカーブの信号強度の大きさに注目したが、ここではピーク部の形状について考察していく。大井川付近と天竜川付近のグローカーブを図-8に示した。この2地点のグローカーブを比較する上で、ピークを270度から310度と、340度から380度の2つに分けて考察する。天竜川付近では低温側のTL強度が高温側強度に比べて大きな値を取っているが、大井川付近ではこの関係が逆転し、高温側のピーク値の方が大きいことが分かる。

このことは大井川を起源とする砂と天竜川起源の砂とでは、グローカーブのピーク部分の形状が異なるということを示している。この性質を利用すれば、ある砂サン

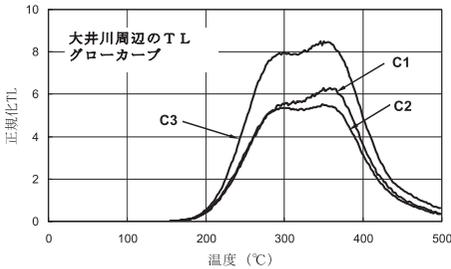
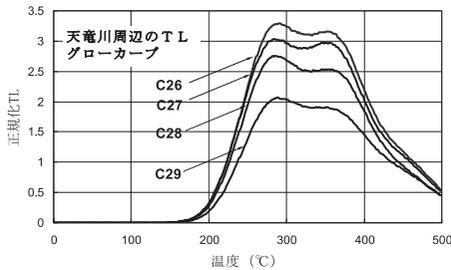


図-8 天竜川周辺と大井川周辺のTLグローカーブ

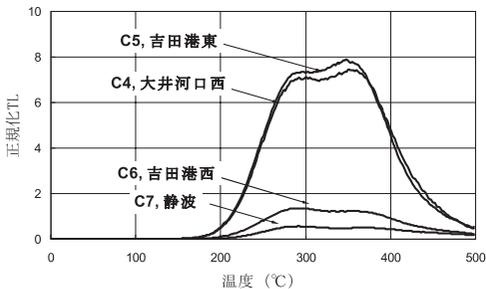


図-9 吉田港付近のTLグローカーブ

プルの起源が不明なときに、サンプルのTL信号を測定し、ピークの形状を比較することで、起源の特定が可能になると考えられる。

これをもとに吉田港の周辺の地点C4からC7でTL信号強度を測定したのが図-9である。

このグローカーブを強度という面から見ると、吉田港を境にして、大井川からの漂砂の上手側である北東側から、下手側の南西側にかけて、TL信号が急激に落ち込んでいる。これは大井川から供給される漂砂が到達することができる南側の限界が吉田港北東側で、高いTL信号を有する大井川の漂砂が、吉田港で遮断されていることを示唆している。藤原ら(2007)でも、砂の色や磁性による違いから、漂砂の境界がこの付近であることが示されている。

このことをグローカーブのピークの形状から判断するために、それぞれの形状を比較すると、地点C4, C5では高温側のピークが大きいのに対し、地点C6, C7では低温側で高いピークが生じており、2地点でグローカーブのピークの形状に違いがある。このことは天竜川から供給

された、低温側にピークを持つ砂と、大井川から供給された、高温側にピークを持つ砂とが、吉田港を境にして分布しているということを示しており、TL強度に加えてピーク形状を考察することで漂砂の起源をさらに詳細に特定可能であることが分かる。

5. 結論

本研究では天竜川・遠州灘流砂系から大井川にかけて、広範囲で採取したサンプルの長石のTL信号強度測定を行い、以下の結論を得た。

- (1) 河川から供給された砂粒子のTL信号強度は、河川から離れるに従って徐々に小さくなる。
- (2) 大井川から供給された土砂は、その大部分が北向きの漂砂として移動する。また沿岸漂砂の供給される範囲は天竜川に比べて小さい。
- (3) 河川からの距離とTL信号強度の関係から、河川から左右岸海浜に供給される土砂量の比を概算することが出来る。
- (4) 遠州灘西側では、海岸付近の海岸崖が侵食される影響で、付近の海岸の砂のTL信号強度も高い値を取る傾向がある。
- (5) TL信号強度とグローカーブの形状の両方に注目することで、TL信号強度のみでは困難な、複雑な流砂系における土砂供給源の特定が可能となり、砂の移動の痕跡をより詳細に調査することが出来る。天竜川由来の土砂と大井川由来の土砂の境界が吉田港付近であることが分かった。

謝辞: 本研究は、科学技術振興調整費重要課題解決型研究「先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災」の研究成果の一部である。

参考文献

- 芦田和男・高橋 保・道上正規(1983): 河川の土砂災害と対策—流砂・土石流・ダム堆砂・河床変動—, 森北出版, 防災シリーズ5, 260p.
- 大井川水系河川整備基本方針(2006): 国土交通省河川局, http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyuo_keikaku/gaiyou/sei/bi/.
- 岸本 瞬・劉 海江・高川智博・白井正明・佐藤慎司(2008): 長石の熱ルミネッセンス特性に基づく流砂系の土砂移動の分析, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 686-690.
- 藤原弘和・佐藤慎司・白井正明・田島芳満(2007): 表層堆積物の分析に基づく天竜川・遠州灘流砂系の土砂動態の解明, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 591-595.
- Aitken, M. J. (1998): An Introduction to Optical Dating, Oxford Science Publication ns, 267p.
- Rink, W. J. (2003): Thermoluminescence of quartz and feldspar sand grains as a tracer of nearshore environmental processes in the southeastern Mediterranean Sea, J. Coastal Res., 19(3), pp. 723-730.