

# ルミネッセンス計測に基づく養浜土砂の追跡に関する研究

## Investigation on the Nourished Sand Movement in terms of Luminescence Measurements

劉 海江<sup>1</sup>・浜本あゆみ<sup>2</sup>・佐藤慎司<sup>3</sup>

Haijiang LIU, Ayumi HAMAMOTO and Shinji SATO

In this study, monitoring the nourished sand longshore movement was performed based on the feldspar luminescence measurements, including both Thermoluminescence (TL) and Optically Stimulated Luminescence (OSL). Nourished sand presents larger TL/OSL properties than the natural beach sand. Investigation on the spatiotemporal distribution of post-filling beach sand luminescence features provides the opportunity for assessment on the nourished sand movement characteristics, which was demonstrated from the present field studies along the Miyazaki coast and Shounan coast. Comparing these two techniques, it was found that the OSL technique is suitable for study on short-term sediment movement within a limited area; whereas, TL technique can be applied to the long-term and large-area nearshore process estimation.

### 1. はじめに

養浜工は近年、海岸侵食対策として導入が増加している。養浜工の効果を確認するための調査は主として地形計測に基づくものが多いが、土砂フラックスの推定という点では間接的であり、調査費用もかさむため一年単位で実施されるのが普通である。一方、海浜土砂の移動は台風などのイベントによって急激に生じるものであり、海浜地形計測による監視のみでは時間的にも空間的にも解像度が低く、十分なものとは言えない。蛍光砂や着色砂を追跡する手法も適用されているが、試料の採取と計数に多大な労力がかかるうえ、養浜砂と元の海浜砂が混合しながら移動する状況では、結果の解釈も困難である。

海岸の土砂移動を土砂粒子の特性計測から直接的に推定する手法として、Rink (1999) や岸本ら (2008) は、石英や長石粒子の熱ルミネッセンス強度が、沿岸の土砂移動を推定する指標となることを示した。この手法では、海浜に自然に存在する土砂粒子そのものが持つルミネッセンス特性を利用するため、自然の海浜過程を乱すことなく土砂移動を検出できるという利点がある。本研究では、ルミネッセンス強度の計測に基づき、養浜工として導入された土砂の挙動を追跡することが可能かどうか実証的に検討する。

長石や石英粒子には、地中に埋積されている間には、放射線損傷が蓄積される (Aitken, 1998)。蓄積された損傷は、鉱物粒子が熱や光に曝されるとその外部エネルギー

により励起され、蛍光 (ルミネッセンス) として放出される。熱による発光を熱ルミネッセンス (TL) と呼び、光による発光を光励起ルミネッセンス (OSL) と呼ぶ。埋積されていた土砂粒子が侵食されて河川や沿岸を輸送されると、輸送中には露光する機会が多いため、一般にルミネッセンス強度は減少することになる。

我が国においては、養浜工の土砂は、河床や貯水池に余剰に堆積した土砂が用いられることが多い。岸本ら (2008) や小川ら (2009) の TL 計測例によると、河床や貯水池の長石粒子は海浜の粒子より TL 強度が高い。したがって、養浜砂以外の土砂供給が少ない侵食海岸においては、養浜工周辺のルミネッセンス強度を計測することにより、養浜砂の挙動を追跡できる可能性がある。

### 2. 対象領域

養浜が頻繁かつ大規模に実施されている宮崎海岸と湘南海岸を対象とした。現地調査では、前浜の満潮汀線付近で地表面から約 10cm 下の砂を黒色フィルムケースを用いて露光に注意して採取した。採取間隔は数百メートルとしたが、養浜砂が残っている場所や、浜崖が形成されている場所では、さらに採取試料を増やした。

宮崎海岸では、一ツ瀬川と大淀川に挟まれた領域の海岸で深刻な侵食が発生している (例えば、佐藤ら, 2009)。海岸侵食対策として、2007年より図-1 上段に示した3か所で養浜工が導入されている。養浜箇所は、北から順に、石崎浜北側 (本論文では以後、N-A)、他の二地点より約2年前に養浜が実施された石崎浜南側 (N2007)、フェニックス自然動物園裏 (N-B) である。図-1 下段には、後述する TL・OSL の測定結果も合わせて示してある。

表-1 は、養浜工の実績 (使用した土砂、粒径、時期と量) を整理したものである。養浜土砂は大淀川、小丸川

1 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  
2 サッポロビール株式会社 (元東京大学工学部 社会基盤学科)  
3 フェロー 工博 東京大学教授 工学系研究科社会基盤学専攻

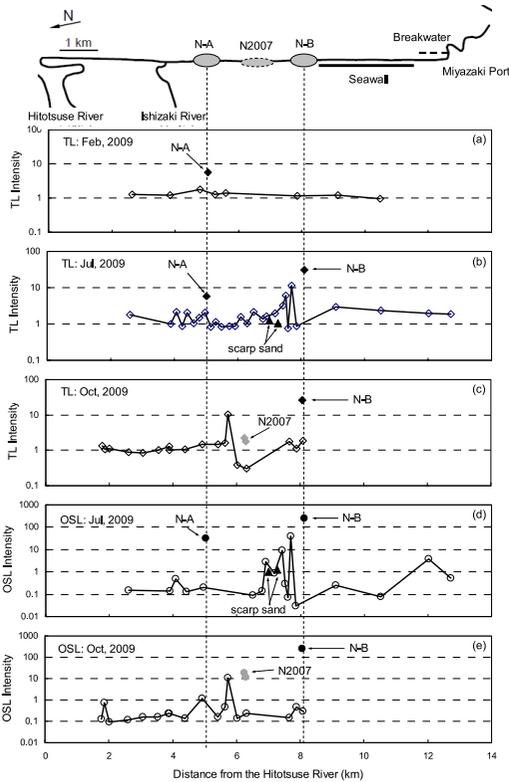


図-1 宮崎海岸の養浜箇所とTL・OSL強度分布

表-1 宮崎海岸養浜工の実績

養浜場所	材料	投入時期	粒径 (D <sub>50</sub> , mm)	養浜量 (×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )
石崎浜北 (N-A)	大淀川・三財川掘削土砂	2007-2008	-	6.8
		2009	0.4	7.4
石崎浜南 (N2007)	大淀川掘削土砂	2007	-	2.5
動物園裏 (N-B)	小丸川掘削土砂	2009	2.4	1.6

および一ツ瀬川の河床から輸送されたものである。砂試料の採取は2009年の7月10、11日と10月20、21日に実施した。採取時には、N2007地点の養浜土砂はほとんどが流出していたことが確認された。また、石崎川北やN-AとN-Bの間の自然海浜では、浜崖が連続して形成されている。写真-1は、2009年10月8日の正午頃に石崎川北の地点（一ツ瀬川から南に2.6km地点）で撮影されたものであり、前日に来襲した台風18号の高波により、高さ約6mの浜崖が侵食されている様子を示している。浜崖から侵食された土砂は海浜への供給になるので、海浜土砂のルミネッセンス分析ではこれらも考慮する必要がある。そこで、浜崖の砂も採取してルミネッセンス強度を計測することにした。2009年には大きな河川流量を伴う



写真-1 台風18号直後の石崎川北の侵食（宮崎河川国道事務所提供）

洪水は生じていないため、河川からの土砂供給の影響は小さい。

湘南海岸においても、宮崎海岸と同様に、主要な土砂供給源である相模川からの供給土砂減少やダムや漁港、ヘッドランドなど各種構造物の建設に影響された海岸侵食が深刻である。侵食対策として、一連の養浜工が実施されている。現地調査は2009年9月16日に図-2上段に示す領域の採取地点で実施した。現地調査時点では、図-2に示した過去の養浜工施工箇所では養浜の痕跡は見出せなかったが、茅ヶ崎漁港とヘッドランドの間の中海岸における養浜工は、そのほとんどが未流出であった。

### 3. 試料の前処理とルミネッセンス強度の計測

現地で採取した試料から前処理により長石粒子を抽出した。前処理の過程での露光を最小限に抑えるため、暗室にて、600nmのオレンジ光のもとで作業した。まず粒径0.18mm～0.3mmの粒子をふるい分け、過酸化水素水と塩酸により有機物と炭酸塩を除去した後、重液によりカリ長石を分離した。抽出した粒子を室温乾燥した後、シリコンスプレーにより、測定用ディスクに単層固定した。それぞれのディスクには、約100粒の長石粒子が固定された。計測したルミネッセンス強度はこれらの粒子の平均値となる。一地点あたり4枚のディスクを計測した。

各ディスクのルミネッセンス強度はRisø社のTL/OSL分析器で計測した。OSL強度の計測では、温度50℃におい

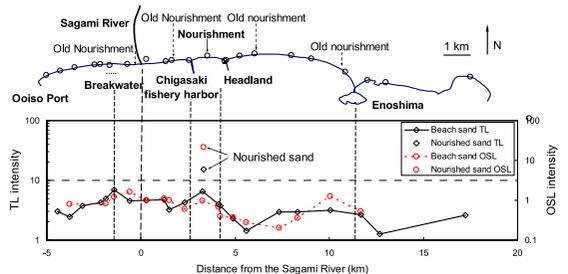


図-2 湘南海岸の養浜箇所とTL・OSL強度

て赤外光による100秒間の励起による蛍光発光を測定した。蛍光の検出には、Schott BG39とCorning 7-59のフィルタを組み合わせて用いた。TLの計測法は、岸本ら(2008)によった。同じディスクに対して、自然状態でのTL強度と、等価線量10.8Gyのベータ線を照射した後のTL強度を200-400℃の温度範囲で測定し、TL強度の大きい260-380℃の範囲における前者のTL積分値を後者の積分値で除することにより、正規化したTL強度を算出した。

OSL強度に関しては、年代推定に用いられているSAR法(Murray・Wintle, 2000)にしたがって計測した。プレヒートやカットヒートの条件は石橋ら(2009)と同様とした。光による励起条件は、Wallingaら(2000)と同じとした。図-3は、OSL強度の測定例である。測定のス/N比を良くするために、Duller・Augustinus(1997)に従い本研究では、図-3の最初の2秒間の信号の平均値を用いてOSL強度を推定し、最後の10秒間の信号の平均値で算出したバックグラウンド信号を差し引くことで、正味のOSL強度を算出した。TL強度の正規化と同様に、0.9Gy相当のベータ線照射によるOSL強度を別途計測し、自然状態のOSL強度をこれで除することにより、正規化されたOSL強度を得た。これらの手続きにより、試料の量や粒径、放射線損傷に対する感度の違う試料同士を定量的に比較することが可能となる。

#### 4. ルミネッセンス強度の分布と養浜砂の挙動

##### (1) 宮崎海岸

図-1下段は宮崎海岸のルミネッセンス強度を示したものである。佐藤ら(2009)による2009年2月に採取した試料のTL強度の一部も合わせて示してある。2.で述べたように、河川からの土砂供給は少ないと考えられるので、沿岸に供給される土砂は、養浜土砂や浜崖の侵食による土砂が主たる成分である。これらの供給土砂が海浜の砂と混合しながら移動すると考えられるので、まずは、これら二種類の土砂のルミネッセンス強度を議論する。

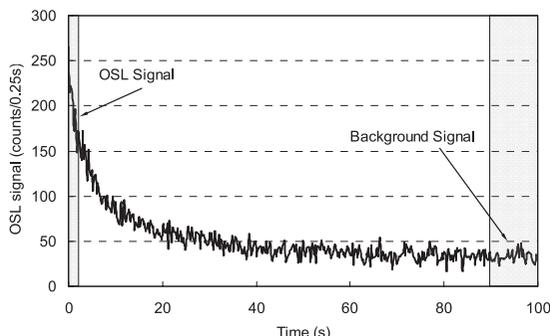


図-3 OSL強度の測定例

図-1(a), (b), (c)において、養浜地点N-AとN-BのTL強度を見ると、養浜砂のTL強度は海浜砂のそれよりかなり大きいことがわかる。また、小丸川からの土砂が投入されたN-B地点では、大淀川からの土砂が投入されたN-A地点よりTL強度が高い。これは、河川流域の地質条件を反映したものであり、日向灘海岸では北へ行くほどTL強度が高くなるという佐藤ら(2009)の結果とも整合している。以上の議論は図-1(d), (e)のOSL強度に対しても同様である。

約2年前に大淀川河床砂で養浜されたN2007地点では、本研究の調査で試料を採取した時点では養浜砂のほとんどが流出していたが、10月の調査では、二か所でわずかに養浜砂の痕跡が残っている箇所があった。図-1(c), (e)に示したこれらの土砂のルミネッセンス強度は、他地点の養浜砂より低いことがわかる。これは、N2007地点の残存する養浜砂が微量であり、養浜後に作用した波により部分的な露光が進んだためと考えられる。現存する養浜砂でもルミネッセンス強度が低いことから、N2007地点で流出した養浜砂は現地砂と混合しながら露光を繰り返し、元々保持していた高いルミネッセンス強度を既に消散させているものと推察した。

次に、浜崖の砂を検討する。図-1(b)において、7月に7km地点付近で採取された浜崖の砂のTL強度は小さく、海浜砂とほぼ同程度である。宮崎海岸の陸側には砂丘が広がり、浜崖は飛砂により $10^3$ 年スケールで形成された砂丘部が侵食されることにより形成されたものである。飛砂の輸送過程においては、ルミネッセンス強度は特にOSLについてはほぼ完全に消散するため(岸本ら, 2008)、埋積時点ではルミネッセンス強度はほぼゼロと考えて良い。埋積期間が1000年程度としても、自然放射線量はたかだか0.5-1.0Gyであるので(Rink, 1999)、蓄積線量は1Gyのオーダーである。TL強度が10.8Gyに相当する線量で正規化されていることを考えると、1Gyの蓄積線量は正規化後のTL強度では0.1のオーダーとなり、図-1のスケールでは浜崖のTL強度と海浜砂のTL強度には有意な差がないことになる。OSL強度については、正規化に用いている等価線量は0.9Gyであるので、1Gyの蓄積線量は正規化後のOSL強度でほぼ1程度となる。図-1(d)を見ると、海浜砂のOSL強度は0.1程度であるのに対し、浜崖砂のそれは1程度であり、この差は、埋積期間における蓄積線量を示している。浜崖の形成年代を同定するには、さらに多くの試料を測定する必要があるが、今回の測定結果からは、現在の浜崖は約1000年前に形成された砂丘が侵食されて形成されたものと考えられることがわかる。また、浜崖砂のルミネッセンス強度は河床砂のそれより極めて小さいことから、浜崖の侵食が海浜砂のTL・OSL強度に与える影響は小さいと考えられる。

図-1 (a) において、海浜砂のTL強度は広い領域でほぼ均一で1程度の値であり、N-A地点の養浜砂のTLより小さい。写真-2 (a) は、2月の試料採取時のN-B地点の状況である。2月には、養浜砂は広い海浜の陸側に位置し、波による流出は認められない。

図-1 (b) は7月のTL強度を示したものである。7月には、7-8km区間や南側の9-13km区間において、TL強度が高い領域が認められる。図-4は、宮崎港で観測された波浪データとそれからCERC公式で算出される沿岸漂砂量を示したものである。有義波高が6mを超える高波が5月28日に来襲し、南向きの沿岸漂砂をもたらしたことがわかる。N-A地点やN-B地点の養浜砂は、この高波によって南へ輸送されたと考えられる。写真-2 (b) は、10.5km地点付近の7月の状況であり、護岸前のわずかな砂浜が消波ブロック群により防護されていることがわかる。このような場所では、高波で運搬されてきて堆積した土砂は、消波ブロック群に捕捉される。捕捉された土砂は常時の波浪では移動しにくいので露光が進まず、ルミネッセンス強度の低減が生じにくいと考えられる。

図-1 (b), (d) において、高いルミネッセンス強度は7-8km区間でも認められる。何点かのTL強度はN-A地点のTL強度より高いため、これらの土砂は、N-B地点の養

浜砂が輸送されたものと考えるのが自然である。写真-2 (c) は、7月採取時のN-B地点の状況である。写真-2 (a) と比較すると、海浜が侵食され、試料採取日当日にも波が養浜土砂に作用して侵食が進行中であることがわかる。図-4 (c) は、毎時波浪データから、沿岸漂砂量の変動を算出したものである。図より、7月の試料採取時には北向きの沿岸漂砂が卓越していたことがわかる。これらから、7-8km区間に見られる高いルミネッセンス強度は、N-B地点の養浜砂が常時波浪によって北向きへ輸送されたためと考えられる。高いルミネッセンス強度は、北へ行くにつれて徐々に減少することから、同期間における養浜砂は少なくとも1km程度は移動していたと推察される。

10月7日には台風18号による有義波高7.8mの波浪が来襲し、北向きの沿岸漂砂を生じさせた。強い北向きの沿岸漂砂は、写真-1の浜崖侵食の形状からも推察することができる。写真-2 (d) を見ると、台風18号来襲後には、養浜砂はほぼ完全に流出した。図-1 (c), (e) を見ると、海浜砂のルミネッセンス強度は5.8km地点を除いて総じて低い。これは、台風の高波により、養浜砂の多くが沖合に輸送されたこと、および、海浜砂は台風後の常時波浪の作用を受けて遡上域を中心に露光を繰り返し、台風から2週間が経過した試料採取時点では、消波ブロック群近傍で砂が捕捉されていた5.8km地点を除いてルミネッセンス強度が全体に低くなっていったためと考えられる。

図-1 (b), (d) において、TL強度とOSL強度をさらに詳細に比較すると、OSLの変化の方がTLよりも激しいことがわかる。例えば、7km地点の海浜砂とN-Bの養浜砂では、TL強度の差は10倍程度であるのに対し、OSL強度の差は103倍にも達している。土砂の移動距離や露光時間は同程度であると考えられるので、この差は、OSLの方がより露光に敏感で、沿岸での土砂移動によってTLよりも速く強度が低下することを示している。これを確認するために、露光試験を実施した。図-5は、長石粒子を単層で固定したディスクを異なる時間太陽光に露光させて、ルミネッセンス強度の低下特性を調べたも

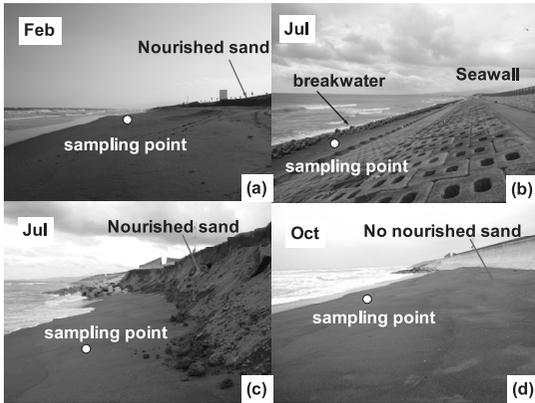


写真-2 宮崎海岸の試料採取時の状況

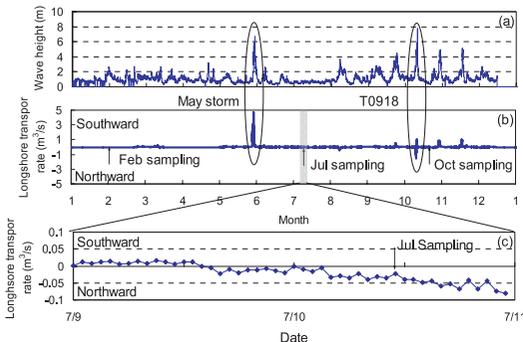


図-4 2009年における宮崎港観測波高と沿岸漂砂量

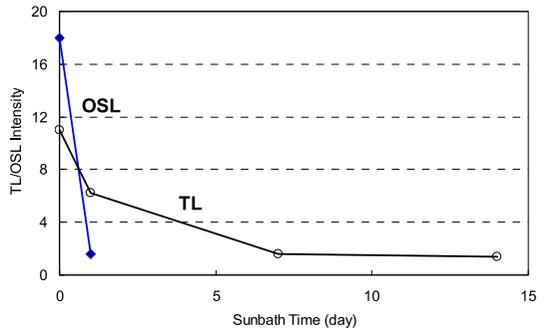


図-5 TL・OSL露光試験

のである。OSL強度は、24時間でわずか9%にまで強度が低下するのに対し、TL強度は、2週間後でも13%の強度を保持していることがわかる。これらから、OSL強度の測定は、局所的かつ短期間のイベントによる土砂移動の追跡に適し、TL強度は、長期間かつ広域の土砂移動現象を記述するのに適していると判断される。

## (2) 湘南海岸

図-2の下段には、湘南海岸におけるTL・OSL強度の分布を示した。土砂供給源である相模川河口から離れるにつれて、ルミネッセンス強度が徐々に低下しており、沿岸漂砂の輸送過程で露光が進むことと対応している。試料採取時に養浜材が残存していた茅ヶ崎中海岸におけるルミネッセンス強度は、周辺のものより高く、同区間においては、養浜材のルミネッセンス強度はもちろん、海浜砂の強度も高いことが認められる。養浜材は、2009年9月の試料採取時にも常時波浪によって侵食され、海浜砂と混合していた。しかしながら、高いルミネッセンス強度は、中海岸区域に限られており、漁港やヘッドランド構造物により、沿岸漂砂の移動が制限されていることがうかがえる。

図-2の下段において、ルミネッセンス強度と海浜の侵食・堆積状況を対比させると、侵食区域では、一般にルミネッセンス強度が低いことがわかる。例えば、相模川河口から東に1.5km地点や5.6km地点では、侵食が深刻であるが、ルミネッセンス強度は低めである。侵食域では、波による土砂移動が活発であるため、週上域で移動する土砂量が多く、露光機会が増えるためと考えられる。一方、離岸堤の背後や江ノ島西部などの堆積区域では、ルミネッセンス強度は高めとなっている。これらの区域では、過去に養浜工が実施されており、また、構造物や島による遮蔽の影響でこれらの土砂が捕捉されることによって、高いルミネッセンス強度が維持されているものと考えられる。以上より、宮崎海岸に比べて湘南海岸では、多くの人工構造物や岬などにより、沿岸漂砂が区間ごとに閉じ込められる状況になっており、ルミネッセンス強度の分布もそれを反映していることが確認された。

## 5. 結論

本研究では、宮崎海岸と湘南海岸において、TL・OSL計測に基づく養浜土砂の挙動追跡に関する現地調査を実

施した。主要な結論は以下の通りである。

- (1) 養浜土砂のTL・OSLは、海浜砂のものより大きい。したがって、ルミネッセンス強度の時空間分布から、養浜土砂の挙動を追跡することが可能である。
- (2) 宮崎海岸では、侵食された浜崖砂のルミネッセンス強度は、海浜砂のものと同程度である。これは、浜崖の砂は、元々は飛砂で形成された砂丘の砂であることによる。湘南海岸では、養浜土砂の移動は、構造物に挟まれた区間に制限される傾向があることが認められた。
- (3) OSL強度の計測は、より短期間の局所的な土砂移動の追跡に適しており、TL強度計測は、長期間の広域土砂移動の推定に適している。

謝辞：本研究の一部は、鹿島学術振興財団の研究助成を受けて実施したものであることを付記する。

## 参考文献

- 石橋 徹・鈴木一省・劉 海江・高川智博・佐藤慎司 (2009)：長石を用いた光励起ルミネッセンス年代測定法による浜松沿岸低地の発達過程の考察，海岸工学論文集，第56巻，pp. 611-615.
- 小川裕貴・劉 海江・高川智博・佐藤慎司 (2009)：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，海岸工学論文集，第56巻，pp. 616-620.
- 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.
- 佐藤慎司・岸本 瞬・平松遥奈 (2009)：日向灘流砂系の土砂動態と砂礫海浜の長期変形，海岸工学論文集，第56巻，pp. 671-675.
- 宮崎海岸侵食対策検討委員会 (2009)：http://www.qsr.mlit.go.jp/miyazaki/html/kasen/sskondan, 2010年3月参照。
- Aitken, M.J. (1998): An Introduction to Optical Dating, Oxford Science Publications, pp. 6-36.
- Duller, G.A.T. and Augustinus, P. (1997): Luminescence studies of dunes from north-eastern Tasmania, Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology), 16, pp. 357-365.
- Murray, A.S. and Wintle, A.G. (2000): Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol, Radiation Measurement, 32, pp. 57-73.
- Rink, W.J. (1999): Quartz luminescence as a light-sensitive indicator of sediment transport in coastal processes, Journal of Coastal Research, 15, pp. 148-154.
- Wallinga, J., Murray, A. and Wintle, A. (2000): The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grain feldspar. Radiation Measurements, 32, pp. 529-533.