

西日本と韓国におけるレスの起源とその特性

矢田 浩太郎

キーワード: レス, 古土壌, 風成塵, ESR (電子スピン共鳴), 長洞里, 倉吉市

1. はじめに

近代科学において地球の気候は安定しており, 変化するとしてもゆっくりと移り変わっていくものという考えが主流であった。しかし, グリーンランドの氷床コアの酸素同位体比の変動によって, 地球は急速に温暖化し, 500年から2000年をかけて次第に寒冷化するような気候変化を繰り返し示していることが明らかとなった (Dansgaard *et al.*, 1984; Oeschger *et al.*, 1989)。この変動は後に GRIP 計画でグリーンランドから採取された氷床コアからも確認され, D-0 Cycle (Dansgaard - Oeschger Cycle) と呼ばれるようになった。また, 地球の平均気温がわずか数十年で 5℃以上も上昇したと推定される時期もあることから (Johansen *et al.*, 1992; Dansgaard *et al.*, 1993), 実際の地球の気候変動は著しいものであることも明らかとなった。

今日, 多くの場面において地球環境問題の危機が叫ばれている。地球温暖化, オゾン層破壊, 酸性雨など挙げればきりが無い。また身近な間においても, 実際に異常気象と呼べる諸所の出来事に直面している。日本だけを見ても 2004 年には新潟・福島地方や福井などを記録的な集中豪雨が襲った。また, 上陸した台風は, 観測史上最多の 10 個を記録した。さらに 2005 - 06 年には, 新潟県, 長野県など, 各地で記録的な豪雪に見舞われた。こうした現象は地球自体の自然環境変動であるのか, 人間活動によるものなのか, はたまた相互作用によるものなのかは明らかとされていない。地球環境問題についてはこうした解明すべき多くの問題を含んでいる。

地球環境問題を考える上で地球が繰り返し直面してきた環境の変動を知ることは, 将来の環境変化予測, 及び, それにより人類が受けるであろう影響を考察する上で大きな意味を持っている。これについて IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) は, 国際的にも地球環境問題は人類の生存を脅かす最大の問題であるとして位置づけ, 気候変動の科学的な評価, 気候変動による環境・社会・経済への影響評価, 気候変動による影響の緩和策の策定にそれぞれ取り組んでいる。また, IGBP (International Geosphere Biosphere Programme: 地球圏生物圏国際研究計) の PAGES (Past Global Changes) では, 1994 年から PEP (Pole Equator Pole) 計画が立案され, 過去の環境を高精度に復元することによって現在と未来の地球像を読み取ることを視野に活動がなされている。日本列島を含む東アジア地域をトランセクトとする PEP II では高精度時間分解能での古モンスーン変動復元を解明することを進めている。現在の中緯度域の気候を決定付けるものがモンスーンの変動である。また, モンスーンの変動は世界的な気候変動のトリガーとしても注目されており, モンスーンの変動を検出することは過去の気候変動を解明するための重要な課題であるといえる。

これまでにおいて, モンスーン変動の検出・復元がさまざまな方法によってなされており, 日本海堆積物のレス堆積物の研究 (Iriino and Tada, 2002; 長島ほか, 2004 など) や湖沼・内湾の年縞に着目したレス堆積物によるモンスーンの高精度復元 (福澤ほか, 1997; 福澤, 1998; Fukusawa, 1999 など) 等が挙げられる。特にレス及び風成塵はモンスーン変動のトレーサーとして注目を集めている。

本研究では第四紀の気候変動に伴う風成塵の給源地, 古風系, 粒度組成を明らかにする

ことによってモンスーン変動を解明することをめざすとともに、風成塵の供給源の変化がモンスーン変動に伴うものであることを明らかにすることを狙いとしている。

2. MIS2における風成塵の供給源に関するこれまでの研究

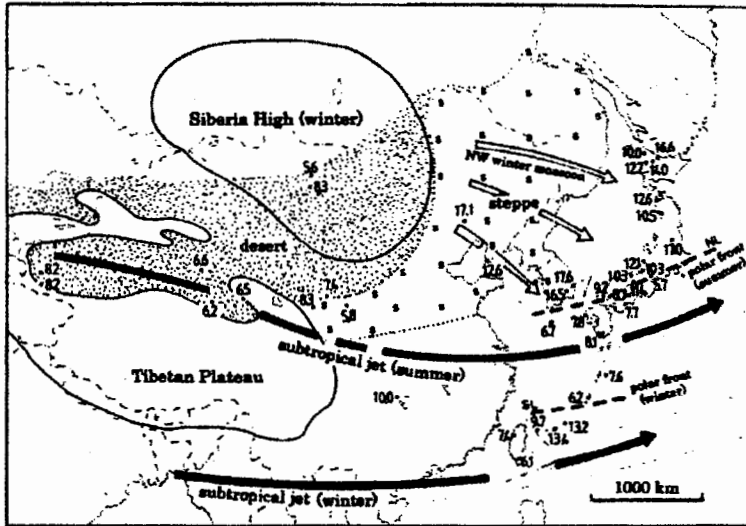


図1 東アジアにおける MIS2の風系 (Toyoda and Naruse, 2002)

ESR による酸素空孔量測定法とは石英結晶内の酸素原子が自然放射線によって離脱した抜け穴（酸素空孔）を測定する方法である。石英の産出年代が古いと、それだけ自然放射線の影響を強く受けることから酸素空孔量は大きくなり、新しいと小さい (Toyoda, 1992; Toyoda and Hattori, 2000 など)。また酸素空孔は熱的に安定で寿命が長いことから、石英の産出年代を大まかに知ることができる。石英の産出年代はその地域ごとに異なっており、そのためそれぞれの地域の特徴を示す指標となる。Ono and Naruse *et al.* (1998) はこの方法を用いて風成塵の供給源を特定することで、古風系の復元を行った。これによると、MIS2における西南日本地域の風成塵はタクラマカン・ゴビ沙漠から夏季亜熱帯ジェット気流によって、日本北部・韓国の風成塵は東アジア北部の先カンブリア紀岩帯地域から冬季モンスーンによって、また、南西諸島のものは中国南部あるいはインドなどの先カンブリア紀岩帯地域から冬季亜熱帯ジェット気流によってもたらされた可能性が高いことを明らかにした (図1)。また、MIS1では風成塵は中緯度を通る亜熱帯ジェット気流でしか供給されておらず、このことは、氷期-間氷期のサイクルによる風系の変化が風成塵の供給源の変化として記録されていることを示唆している。

3. 分析方法

粒度分析は以下の手順で行った：0.2%のヘキサメタリン酸ナトリウムの水溶液を加え、超音波処理 (150W, 10kc/p, 3min) を行い、試料を十分に分散させた。火山灰を多く含んだサンプルは約5%の塩酸を分散液に用いた。分散させた試料は-1~5φで0.5φごとに篩い分けを行い、乾燥させて重量を測定した。>5φのものは、兵庫教育大学の島津製作所のレーザー回折式粒度分布測定装置を用いて粒度分析を行った。

ESRは以下の手順で行った：まず測定試料を6MのHClで煮沸処理した。その試料に⁶⁰Coに

よって2.5kGyの γ 線を照射し、300°Cで15分間加熱することで酸素空孔をE1'中心に変換し、その信号強度を測定した。ESR分析に用いる試料は石英を単離精製することが望ましいが、微細粒子ではそれが困難なため、X線回析によって石英含有率を求め、[ESR補正值 ($1.3 \times 10^{15} \text{spin g}^{-1}$) = 酸素空孔量 (raw data) \div 石英含有率 $\div 100$]の式によって補正した。ESR信号強度測定は岡山理科大学の日本電子製パルスESR測定装置を使用した。X線回析は福井県立大学の理学電気社製ガイガーフレックス装置を使用した。

4. 調査地概要

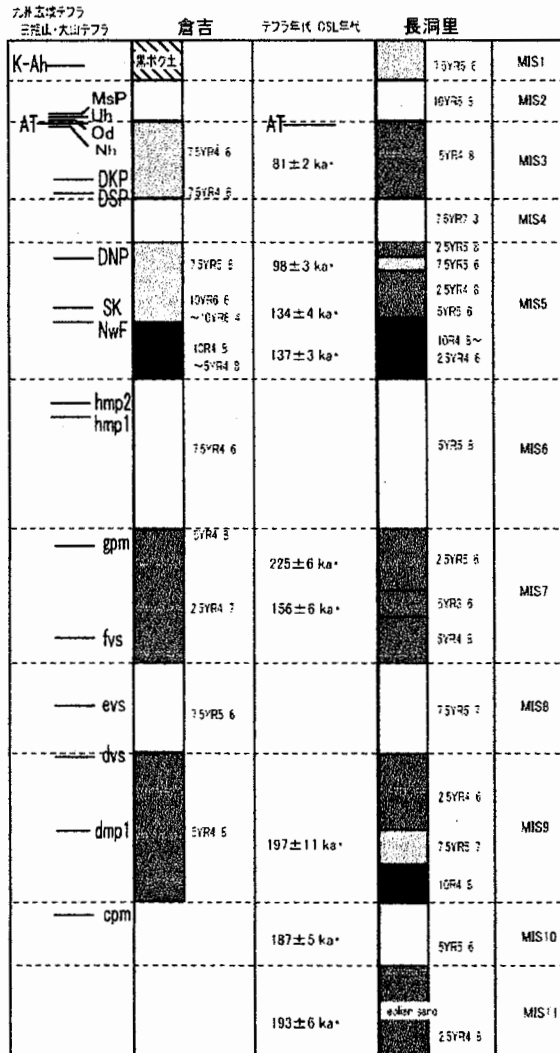


図2 調査地点

図3 調査地点柱状図

[鳥取県倉吉市桜]

本地点は E. 35° 25' 29.9, N. 135° 42' 16.0 に位置し、標高 250~180m の小起伏火山地上にあたる。地質は安山岩凝灰角礫岩で、第四紀の更新世中期の古期火山噴出物からなっている。その上には 10 数m にわたり大山・三瓶山などを起源としたテフラが 18 枚堆積しており、その間には古土壌層が挟まれている。堆積物の年代は、最下部に cmp が堆積していることから 330ka までさかのぼることが分かる。

[韓国羅州市洞江面長洞里]

本地点は E. 34° 53' 55.9, N. 126° 33' 07.1 に位置している。地質は白亜紀の流紋岩やジュラ紀の黒雲母花崗岩が広く分布している。調査地点は標高 12m の台地上で、上部 8 m はシルト堆積物からなり、レス - 古土壌の互層が見られる。堆積物の年代は AT の降灰層準と OSL 年代から約 400ka までさかのぼると考えられる。その下部には流水堆積物と思われる細砂層が確認できる。

5. 鳥取県倉吉市における結果および考察

粒度分析の結果から、古土壌層は 8~2 μ m にピークを持っている細粒な構成からなっていることが分かった。これに対し、テフラ層は 63~31 μ m と粗粒な位置にピークを持っており、古土壌とは違った粒度組成を示している (図 4)。

ESR 分析の結果では、テフラ層に含まれる石英の ESR 信号は検出されなかった。古土壌層でもテフラ起源のものと考えられる粗粒画分 (500~77 μ m) の石英からは信号が検出されなかった。これに対し古土壌層の微細石英 (<20 μ m) では、4.96~16.26 の信号が検出された。この結果は古土壌の中の石英の起源がテフラとは明らかに異なっていることを示す。すなわち古土壌の起源は大陸からの風成塵であると考えられる。

古土壌に含まれる微細石英の ESR 信号強度は 4.67~16.26 と幅広い値をとっている。この結果を、テフラ年代層序を基に整理すると、間氷期で 4.67~7.05 と低く、氷期で 10.96~16.26 と高い値を示していることが分かる。間氷期の値はタクラマカン・ゴビ沙漠のものとよく似た値を示しており、氷期の値は先カンブリア紀岩のものに近い値になっている。このことは、風成塵が間氷期にはタクラマカン・ゴビ沙漠から、氷期には東アジア北部の先カンブリア地域から運ばれてきたことを示している。また、ESR 信号強度の変化は SPECMAP の酸素同位体変動と良い一致を示している (図 5)。このことは、風成塵の供給源の変化が古モンsoon変動を復元するためのトレーサーとなりえることを示唆している。

6. 韓国長洞里における結果および考察

堆積物から連続的にサンプルを採取し粒度分析をした結果、レス層において、44~9 μ m と 6~2 μ m とがそれぞれ違った変化を示すことが明らかになった。これらの構成が対数正規分布をとるものと仮定してそれぞれを分離すると、25 μ m にモードを持つ正規分布集団と 6~5 μ m にモードをもつ正規分布集団に分離することができる (図 6)。

粒度分析の結果に基づき、粗粒画分と細粒画分が互いにあまり影響していない範囲を設定して、それぞれに ESR 信号強度を測定した。その結果、粗粒画分 (88~31 μ m) は 5.84~8.63 と黄土高原のレスに近い値を示した。これに対して、細粒画分 (<10 μ m) は 9.27~14.28 と先カンブリア紀のものに近い値を示した。このことから、粗粒画分と細粒画分の石英の給源は異なることが明らかになった。黄海に堆積する細粒物質は黄土高原から黄河によって運ばれたレス物質が多く混入していると考えられること、また、現地物質である海成砂層 (1000~125 μ m) の ESR 値は 5.27 を示したことから、粗粒画分の石英は海底や沿岸の干潟から吹き上げられたものであると考えられる。これに対して細粒画分の ESR 信

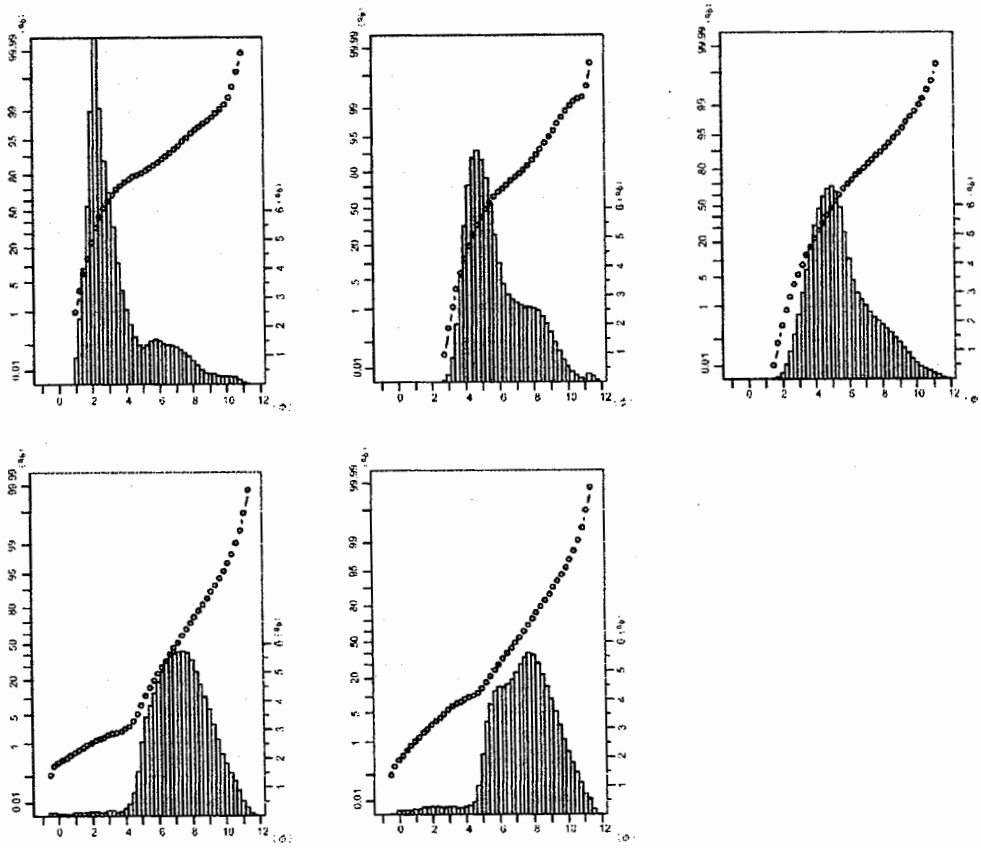


図4 倉吉市におけるテフラと古土壌の粒度組成
 (左上; ATテフラ, 中上; DNPテフラ, 右上; fvsテフラ, 左下; MIS4相当古土壌層, 右下; MIS5e相当古土壌層)

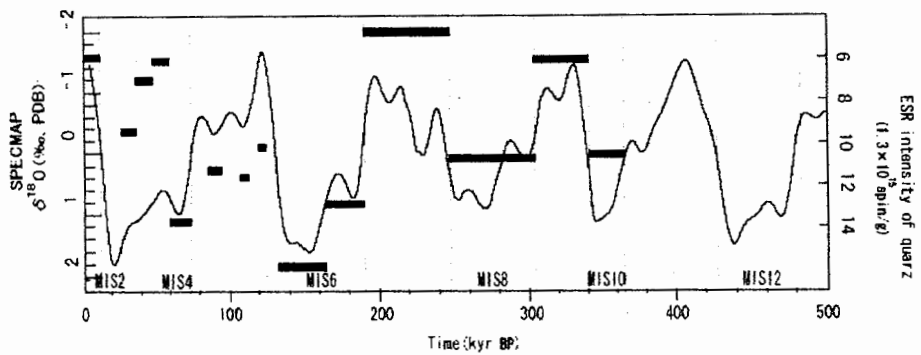


図5 鳥取県倉吉市の ESR 信号強度と気候変動

号強度は先カンブリア紀のものに近い値を示しており、このことから東アジア北部に広がった砂漠から北西季節風によって運ばれてきたものであると考えられる。

韓国南西部に位置する長洞里は鳥取県と大体同じ緯度をとっており、また、北方風成塵の給源から近いことから、ESR 信号強度の結果は鳥取県倉吉市のものと同じように氷期 - 間氷期の変動を反映したものになると考えていた。しかし、その結果はあまり良い一致を示さなかった。ESR 信号強度の変化を SPECMAP に対比させると、寒冷化が進んだと考えられる MIS2, 6 では 9.71, 9.97 と比較的に低い値をとった (図7)。それは、黄海に干潟が広がったことで、そこに堆積する細粒物質が吹き上げられたためだと思われる。MIS2, 6 は非常に海退の進んだ時期にあたり、黄海には広大な干潟が広がっていたと考えられる (図8)。黄海には黄河によって黄土高原から多くの細粒物質が供給されており、干潟が広がった時期に風成塵の供給源となった可能性が高い。そのため、そこに堆積する黄河起源の細粒物質が吹き上げられて広域風成塵と交じりあった結果、ESR 信号強度が低くなったと考えられる。したがって、韓国におけるレスは黄海から吹き上げられた風成塵の影響を強く受けていると考えられる。

これらの結果をもとに、韓国長洞里に堆積するレスの黄海からの風成塵の影響を ESR 値から (東アジア東部からの風成塵を 17, 黄海からの風成塵を 7 として) 見積もると、黄海起源ものは MIS2, 6 において細粒画分の 70 - 80% にのぼり、粗粒画分を含んだ全体では 80 - 85% にのぼると推定される。

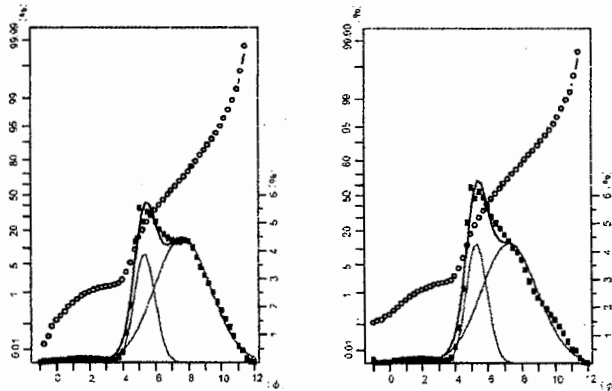


図6 長洞里における MIS4相当層(左)と MIS5e 相当層(右)の粒度組成 (正規分布の分離はorigin6.1による)

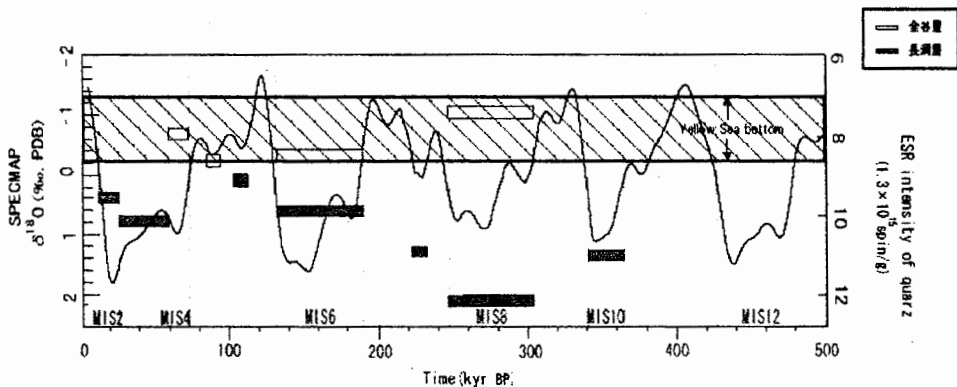


図7 長洞里と全谷里の ESR 信号強度と気候変動

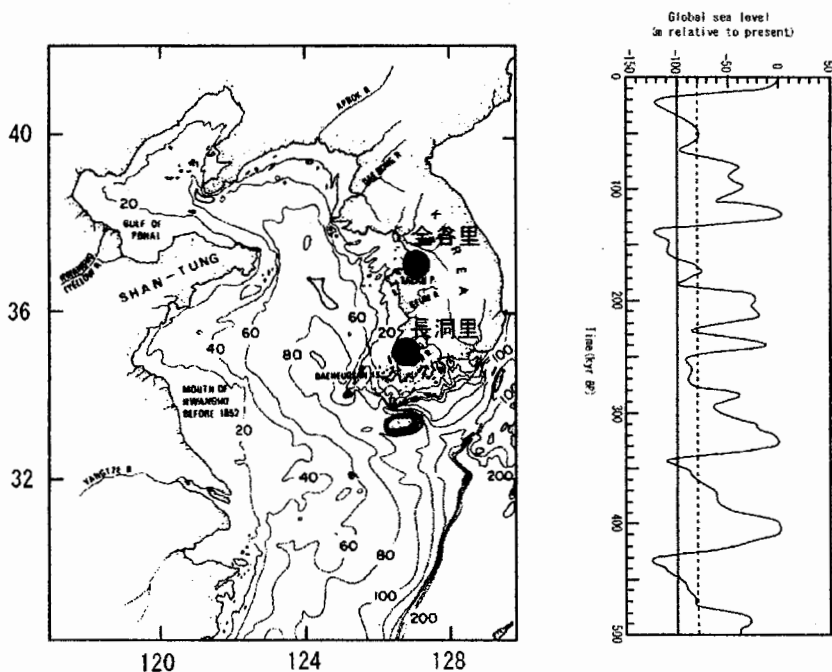


図8 黄海海底地形と海面変動
(Chough and Kim, 1981, Richard et al., 2005 より一部加筆)

7. おわりに

鳥取県倉吉市での ESR 信号強度の値は、氷期 - 間氷期の変動と非常に良い対応を示した。これはポーラーフロントの南北振動により、レス給源地が変化したことを示している。氷期にはシベリア高気圧が活発になり亜熱帯ジェット気流が南下する。これによりタクラマカン・ゴビ沙漠を給源地とする風成塵の影響は小さくなる。また、シベリア高気圧が張り出したことで、冬季モンスーンが活発となり、さらに寒帯前線が南下し、東アジア北部から風成塵が運ばれることとなる。これに対し間氷期には、東アジア北部からのレスの供給源となった沙漠地が縮小したこと、シベリア高気圧の勢力が小さくなったことで、北方風成塵の影響を受けなくなる。また、亜熱帯ジェット気流が北上することで、タクラマカン・ゴビ沙漠を供給源とする風成塵の影響を受けることとなり、ESR 信号強度はタクラマカン・ゴビ沙漠の特徴を強く示すようになる。このように氷期 - 間氷期における風成塵の供給源の変化は、北方風成塵と南方風成塵の影響度合いの変化は氷期 - 間氷期の変動の大きさを示す。

韓国南西部に位置する長洞里は鳥取県と大体同じ緯度をとっており、また、北方風成塵の給源から近いことから、ESR 信号強度の結果は鳥取県倉吉市のものと同じように氷期 - 間氷期の変動を反映したものになると考えていた。しかし、その結果はあまり良い一致を示さなかった。それは氷期の乾燥化によって黄海に拡大した干潟から風成塵が大量に供給されたためである。黄海には黄河によって黄土高原から多くの細粒物質が供給されており、この細粒物質が吹き上げられて広域風成塵と交じりあった結果、ESR 値が低くなったと考えられる。このことは、より黄海からの風成塵の影響を受けやすいと考えられる韓国北西部にあたる全谷里で、MIS 4, 5b, 6, 8 における細粒画分 (<20 μm) の ESR 信号強度が 7.52~8.67 と黄土高原のものに近い値を示していることから明らかである。このことから、韓国西部におけるレスは黄海からの吹き上げによる影響を強く受けていると考えられる。

参考文献

- 岡田昭明 (1998) 強磁性鉱物の熱磁化特性によるテフラの同定. 鳥取大学教育学部研究報告 (自然科学), 47 p.
- 木村 純一・岡田昭明・中山勝博・梅田浩司・草野高志・麻原慶憲・館野満美子・壇原徹 (1999) 大山および三瓶火山起源テフラのフィッシュトラック年代とその火山活動史における意義. 第四紀研究, 38, 145-155.
- 倉林三郎 (1972) 大山火山灰層の粘土鉱物学的特徴. 地質学雑誌, 78, 1-11.
- 長島佳奈・多田隆治・松井裕之 (2004) 過去 14 万年間のアジアモンスーン・偏西風変動 - 日本海堆積物中の黄砂粒径・含有量からの復元 -. 第四紀研究, 43(2), 85-97.
- 福澤仁之・藤原治・大井圭一・山田和芳・加藤めぐみ・小野有呉・伊勢明広・米田茂夫 (1997) 湖底・内湾・レス堆積物によるアジアモンスーン変動の高精度復元. 月刊地球, 19(8), 463-468.
- 福澤仁之 (1998) 氷河期以降の気候の年々変動を読む. 科学, 68, 353-360.
- Choi, J.H., Murray, A.S., Jain, M., Cheong, C.S. and Chang, H.W. (2003) Luminescence dating of well-sorted marine terrace sediments on the southeastern coast of Korea. *Quaternary Science Review*, 22, 407-421.
- Chough, S.K. and D.C.Kim, (1981) Dispersal of fine-grained sediments in the southeastern Yellow Sea: A steady-state model. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 721-728.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clauen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U. and Oeschger, H. (1984) North Atlantic climatic oscillations revealed by deep Greenland ice cores. In Hansen, J.E. and Talahashi, T. (eds.): *Climate processes and climate sensitivity*. American Geophysical Union, Washington, D.C., 288-298.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clauen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjornsdottir, A.E., Jouzel, J. and Bond, G. (1993): Evidence for general instability of past climate from 250-kyr ice core record. *Nature*, 364, 218-220.
- Fukusawa, H. (1999) Varved Lacustrine Sediments in Japan; Recent Progress. *The Quaternary Research*, 38(3), 237-243.
- Irino, T. and Tada, R. (2002) High-resolution reconstruction of variation in aeolian dust (Kosa) deposition at ODP site 797, the Japan Sea, during the last 200 ka. *Global and Planetary Change*, 35, 143-156.
- Johnsen, S.J., Clauen, H.B., Dansgaard, W., Fuher, K., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Iversen, P., Jousel, J., Stauffer, B. and Steffensen, J.P. (1992): Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, 359, 311-313.
- Naruse, T., Bae, K., Yu, K.M., Matsufuji, K., Danhara, T., Hayashida, A., Hwang, S., Yum, J.G. and Shin, J. B. (2003) Loess-Paleosol sequence in the Chongokni paleolithic site. In county and Hanyang Uni. (eds.): *Geological Formation of the Chongokni Paleolithic Site and Paleolithic Archaeology in East Asia*, 143-156.
- Oeschger, H., Beer, J., Siegenthaler, U., Stauffer, B., Dansgaard, W. and Langway, C.C. (1984): Late glacial history from ice cores. In Hansen, J.E. and Takahashi, T. (eds.): *Climate processes and climate sensitivity*. American Geophysical Union, Washington, D.C., 299-306.
- Ono, Y., Naruse, T., Ikeya, M., Kohno, H. and Toyoda, S. (1998) Origin and derived courses of eolian dust quartz deposited during marine isotope stage 2 in East Asia, suggested by ESR signal intensity. *Global and Planetary Change*, 18, 129-135.
- Toyoda, S. (1992) Production and decay characteristics of paramagnetic defect in quartz: application to ESR dating. *Ph. D. Thesis*, Osaka University, Japan, 106p.

- Toyoda, S. and Hattori, M. (2000) Formation and decay of the E1' center and of its precursor. *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 1351-1356.
- Toyoda, S. and Naruse, T. (2002) Eolian dust from the Asian deserts to the Japanese Islands since the Last Glacial Maximum: the Basis for the ESR Method. *Japanese Geomorphological Union*, 25(5), 811-820.
- Richard, B., Roderik, S.W.W. and Johannes, O. (2005) Modelled atmospheric temperatures and global sea levels over the past million years. *Nature*, 437, 125-128.

Origin and Characteristics of Loess in West Japan and Korea

YATA Kotaro

Key Words: loess, paleosol, eolian dust, ESR (Electron Spin Resonance) , Jangdongri,, Kurayoshi