一般廃棄物焼却残渣の風化作用に対する地質学的風化指標の適用性

九州大学大学院 正会員 ○高橋 史武

九州大学大学院 フェロー会員 島岡 隆行

1. 背景および目的

一般廃棄物の約 77%が焼却処分され、その焼却残渣は埋立処分されている.埋め立てられた焼却残渣は風 化、土壌化過程を経て一般土壌レベルまで環境安全性が高まることが望ましいが、それまでにどの程度の時間 を必要とするか科学的な予測は非常に困難である.焼却残渣の科学的な研究が始められたのはここ 30 年程度 であり、その知見は十分に蓄積されているとは言いがたい.一方、地質学・鉱物学では岩石や火山灰の風化作 用とそれに伴う土壌生成メカニズムの研究に長い歴史を持ち、その科学的知見の集積、理解の深化が進んでい る.本稿では焼却残渣の風化、土壌化過程もその本質は地質学的・鉱物学的変化であると捉え、地質学的風化 指標でもって焼却残渣の風化作用を評価できるか検討することを目的とする.

2. 地質学的風化指標

一般に風化作用は物理的風化作用と化学的風化作用が同時に進行する。しかし本稿では一般廃棄物焼却残渣では化学的風化が物理的風化を卓越すると考え,化学的風化作用のみに着目することとした.本稿で検討する風化指標はWeathering Potential Index (WPI: Reiche (1943)), Ruxton ratio

(R:Ruxton (1968)), Weathering Index of Parker (WIP: Parker (1970)), Vogt's Residual Index (V:Vogt (1927)), Chemical Index of Alternation (CIA:Nesbitt と Young (1982)), Chemical Index of Weathering (CIW:Harnois (1988)), Plagioclase Index of Alternation (PIA:Fedo et al. (1995)), Silica-Titania Index (STI:de Jayawardena and Izawa (1994)), Weathering Index of Miura (Wm:Miura (1973)) Weatherability index (Ks:Hodder (1984))の計 10 種である. これらの

表1 検討に用いた地質学的風化指標

風化指標	定義式	参考文献
WPI	$WPI = \frac{100 \cdot (K_2 O + Na_2 O + CaO + MgO - H_2 O^+)}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + FeO + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}$	Reiche (1943)
R	$R = \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	Ruxton (1968)
WIP	$WIP = \frac{2Na_2O}{0.35} + \frac{M_gO}{0.90} + \frac{2K_2O}{0.25} + \frac{CaO}{0.70}$	Parker (1970)
v	$V = \frac{Al_2O_3 + K_2O}{MgO + CaO + Na_2O}$	Vogt (1927)
CIA	$CIA = \frac{100 \cdot Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O}$	Nesbitt and Young (1982)
CIW	$CIW = \frac{100 \cdot Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O}$	Harnois (1988)
PIA	$PIA = \frac{100 \cdot (Al_2O_3 - K_2O)}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O}$	Fedo et al. (1995)
STI	$STI = \frac{100 \cdot \frac{SiO_2}{TiO_2}}{\frac{SiO_2}{TiO_2} + \frac{SiO_2}{Al_2O_1} + \frac{Al_2O_1}{TiO_2}}$	de Jayawardena and Izawa (1994)
Wm	$Wm = \frac{MnO + FeO + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{Al_2O_3 + Fe_2O_3 + 3H_2O}$	Miura (1973)
Ks	$Ks = \frac{Wm}{WIP}$	Hodder (1984)

定義式は表1にまとめて示す.元素の溶出性の違いから,風化作用が進むほどWPI,R,WIP,STI,Wmは小さい値を,V,CIA,CIW,PIAは大きな値を示すと考えられる.

3. 結果と考察

3.1 地質学的風化指標と風化時間の相関性

未風化および風化作用を特定時間受けた焼却残渣試料について,風化指標を求めた.風化時間と風化指標を 比較したものを図1に示す. CIW と PIA は CIA とほぼ同様の結果であったので,図1からは除外している. WPI, WIP, Wm, Ks では埋立時間と風化指標の間に強い相関性が認められたが,他の風化指標については各 データでの標準偏差が大きく,明確な相関性も認められなかった。埋立時間との強い相関性が認められた WPI, WIP, Wm, Ks においても,未風化(埋立時間が0年)の場合はデータの標準偏差が大きく,変動係数は0.35 ~0.70 であった.変動係数が大きい原因としては,焼却された廃棄物組成や焼却状況,焼却炉の種類などがケ ースごとに異なるため,それに応じて焼却残渣の元素組成が大きく変動しているからと考えられる.一方,

キーワード 一般廃棄物,焼却残渣,風化作用,地質学的風化指標

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 W3-916 TEL:092-802-3431 E-mail:f-takahashi@doc.kyushu-u.ac.jp

WPI, WIP, Wm, Ks では埋立後の試料における 標準偏差が小さくなる傾向がある.これは,ナト リウムやカリウム,カルシウム,マグネシウムな どの溶解しやすい元素が溶出し,ケイ素,鉄,ア ルミニウムなどの比較的溶出しにくい元素が残 留したことで元素組成が一定範囲に収まりつつ あることに起因していると考えられる.未風化と 風化を受けた試料間で風化指数に大きなギャッ プが表れているが,これは先述したナトリウムな どの速やかな溶出に起因していると考えられる.

3.2 地質学的風化指標と重金属溶出性の相関性

重金属が他の元素とある程度の相関を持って 溶出する場合,重金属の溶出性(溶出濃度や溶出 率(=溶出量/含有量))と風化指標との間で相関 が現れることが期待される.そこで,すべての風 化指標について,重金属の溶出濃度および溶出率 との相関性を検討した.結果の一部として銅の溶 出率とWPI,WIPの関係を図2に示す.すべての 風化指標において,溶出濃度や溶出率との明確な 相関性は見出せなかった.重金属の溶出はpHに 大きく影響を受けるため,pH ごとにデータを分 類した場合でも,明確な相関性は現れなかった. 重金属の溶出はその含有量やpH 以外に,化学形 態にも強く影響を受けることがこの原因の一つ と考えられる.

4. 結言

一部の風化指標(WPI, WIP, Wm, Ks)は埋 立年数との間に比較的強い相関を持った.未風化 と風化済みの場合でこれらの風化指数に大きな ギャップが現れたが,易溶出性元素の溶出に起 因していると考えられる.これらの風化指標は 焼却残渣の埋立年数(風化年数)の評価に応用 できる可能性が示された.ただし,重金属の溶 出性については,良い相関が得られなかった.

謝辞:本稿での研究は(財)深田地質研究所 平成 20 年度 深田研究助成および文部科学省科学研究費補助金 若手 研究 B(21760419)の助成を受けて行われた.ここに深く 謝意を表す.

参考文献: de Jayawardena, U. S., Izawa, E. (1994) Eng.

Geol., 36, 303–310, Fedo et al. (1995) Geol, 23, 921–924, Harnois, L. (1988) Sediment. Geol., 55, 319–322, Miura, K. (1973) J. Jap. Soc. Eng. Geol., 14, 3, Nesbitt, H. W., Young, G. M. (1982) Nature, 299, 715–717, Parker, A. (1970) Geol. Mag., 107, 501–504, Reiche, P. (1943) J. Sediment. Petrol., 13, 58–68, Ruxton, B. P. (1968) J. Geol., 76, 518–527, Vogt, T. (1927) Norges Geologiske Undersokelse, 121, 1-560



図2 風化指数と銅溶出率の関係