連載特集 環境問題への挑戦(4)

災害廃棄物による地下水・土壌汚染の可能性

八村 智明*・宮原 哲也*・大野 博之**

要 旨

災害発生に伴う廃棄物は多量で雑多なものが短期間に排出される。このため、通常の処理・処分システムにのらないことが多く、長期的に放置される場合も見受けられる。本論では、現状のデータや知見から、以下の可能性が示された。

1) 災害廃棄物の仮置き場では、嫌気環境下での有機物の腐敗が発生する可能性が高く、早期の処理・処分が必要となる。さらに、嫌気環境下の腐敗と悪臭対策のために、消臭剤を添加したりすることは、事態をより悪化させる場合がある。災害廃棄物は雑多なものが分別されていないことが多く、とくに注意を要する。

2) 仮置き場では、有害重金属が溶出し、地下水・土壌にそれが濃縮することが懸念される。このため、早期の処理・処分とともに適切な地下水・土壌汚染対策の実施が必要である。

3) 崩壊土砂の中などに長期に放置された災害廃棄物は、その量や状態にもよるが、重金属類や石油化合物などによる複合的汚染の発生源となったり、腐敗による火災や有害なガス等が発生したりすることが懸念される。

4) 崩壊土砂の中などに長期に放置された災害廃棄物のうち、地震や火山災害などで燃焼した家屋などは、これら残渣や焼却灰に高濃度のダイオキシン類が含有されている可能性がある。

Key words: 災害廃棄物 disaster waste, 地盤環境 ground environment, 地下水・土壌汚染 groundwater and land pollution, 長期放置廃棄物 waste left at long-term

1. は じ め に

近年、日本では局所的な豪雨が増加する傾向にあり¹⁾、多くの土砂災害や浸水災害が起きている。2004年には新潟・福島豪雨災害、福井豪雨災害に加えて台風23号をはじめとする史上最多の10個の台風が上陸し、2005年には台風14号による宮崎地方の被害などが発生している。また、M8以上の大規模な東南海・南海地震などの発生する確率も50年以内に50%、40%と高い一方、1995年の兵庫県南部地震以降、内陸部の活断層による地震が、平成16年新潟県中越地震や平成17年福岡県西方沖地震などのように国内各地で発生している。さらには、1991年の雲仙普賢岳、1998年の岩手山、2000年の有珠山や三宅島に見られるように火山活動もみられ、富士山の火山噴火が発生した場合の首都圏への降灰被害など、火山災害も懸念されるようになってきている²⁾。

こうした災害では、多くの尊い人命が失われるだけでなく、家屋や公共施設等に甚大な損害をもたらす。一般に、災害が発生した場合、それに伴う緊急対策は当然のことながら人命が最優先される。このため、災害直後の人命レスキューから始まり、災害復旧対策によるライフラインの復興が完了することで災害の終了宣言がなされることが多い。

長崎県1983年7月豪雨や2005年の台風14号による豪雨災害、雲仙普賢岳や三宅島などの火山災害、兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)や平成16年(2004年)新潟県中越地震などの地震災害については、災害規模が大きく、復興に至るまでの時間が長期になる場合があり、新潟では現在も復興が進められている³⁾。

これら長期的災害復旧について物理的対策のみならず、生物環境、生活環境、景観を含めた総合的研究が、近年行われている。(社)土木学会斜面工学研究小委員会では、新潟県中越地震を研究対象とした長期的なモニタリング調査と研究を継続しているのがその良い例である⁴⁾。この研究小委員会の特徴は、単に災害発生メカニズムやその短期的対処手法の研究のみならず、景観や災害廃棄物処理・処

* (財)日本環境衛生センター 西日本支局環境工学部 Japan Environment Sanitation Center(会員)

** 長崎大学工学部 Faculty of Engineering, Nagasaki University(会員) E-mail: h-ohno@civil.nagasaki-u.ac.jp

分の問題までも検討する総合的なものである。しかしながら、過去の災害事例を見る限り、災害復興は物理的な「目に見えるもの」に対する復興が終了すれば、復興宣言を行っているのが現状であり、小委員会の目指すような方向性が世の中全体の動きにまでは至っていないのも実情である。

一方、地球温暖化をはじめとした環境問題は、人類を持続的発展の方向に舵をとらせるようになりつつあり、日本でもそのための循環型社会づくりが進められている。こうした循環型社会の構築の一つが、5R(Reduce(削減), Re-use(再利用・再使用), Recycle(再資源化), Rejuvenescence(製品の長寿命化), Retrofit(部品交換などによる回生))の立場からの廃棄物の処理・処分システムの構築である。この構築は、災害につよい安全・安心な社会づくりとも関連する。すなわち、防災・減災の立場から災害廃棄物の発生そのものを抑制すること、環境保全・衛生保持の立場から災害時の廃棄物処理・処分システムを構築し、再資源化などを勧めることといった点は、循環型社会づくりの問題でもあり、かつ、安全・安心な社会づくりにもつながる。

災害廃棄物が土壌中などに長期に放置されれば、現在の土壌汚染問題に見られるような負の遺産を後世に残す可能性がある。こうしたことは、現時点において余り認識されていないことであるが、大規模災害の場合、その災害廃棄物の量が尋常ではない⁵⁾ことを考えれば、災害発生前の現時点から検討すべき重要な課題と考えられる。そして、その尋常ではない量を考慮すれば、災害廃棄物の再資源化も含めた5Rの考え方を、いかに災害時に機能させるかということも重要性を増す。

そこで、本論では、災害復興が長期化した場合の地盤環境学的課題について取り上げる。さらには、これからの応用地質学の一分野になるであろう「循環型社会の観点からの災害と環境」について論じる。

2. 災害廃棄物の処理・処分の現状とその課題

2.1 災害廃棄物処理システムの現状

大規模災害に伴う廃棄物は、通常の廃棄物処理量を大幅に超えるのみならず、災害発生直後の市民の生活、衛生環境に直接的に影響を及ぼす。

こうした災害廃棄物の対応に関して指標としているのが、「水害廃棄物対策指針(H17.6：環境省)」等⁶⁾である。災害廃棄物は、基本的には、早急な生活の場からの撤去が衛生面などから必要である。そして、これを一時的に集積場に運搬し、集積場内で分別する。その後、適性量が中間処理施設で処理されたり、リサイクルシステムに乗せられたりする。また、その残渣は一般廃棄物として処理され、最終処分場へ埋立てられる。こうした適正な処理・処分システムにより、不法投棄の防止を推進するとともに市民生活の安定化が図られる。

これらの処理システム(流れ)の事例を図-1に示す。また、災害廃棄物を分別、リサイクル、適正処理を行う際の

図-1 災害廃棄物の処理フロー(例)

図-2 A市の緊急の災害廃棄物一次集積場

写真-1 A市二次集積場状況
(区画を設け、分別し、仮置きしている状況)

拠点となる「集積場(仮置き場)」の設置例を図-2および写真-1に示す。このように、適切な仮置き場の設置が可能で、分別のための準備が可能な災害廃棄物においては、適正な処理・処分が行われ、環境問題を引き起こすことはない。

2.2 災害廃棄物の処理・処分システムの課題

災害廃棄物は、適正な処理・処分が行われれば、とくに問題を起こすようなことはない。しかしながら、一次集積場(水害廃棄物対策マニュアルの定義では1週間程度の短期な仮置き場)や二次集積場(一次集積場の後に設けられる比較的長い期間の仮置き場)などの設置がままならないような場合も災害によっては生じる。

例えば、三宅島の災害では、帰島後3か月経った2005年7月の段階でも休校中の小学校のグラウンドに災害廃棄物が分別されない状態で集積されていた⁹⁾。これは、島であることによる島外搬出が容易ではないことにも起因するものの、事前に詳細な収集・搬出計画を講じておくべきであったのではないかと考えられる事例の一つである。

しかし、こうした災害廃棄物の仮置き場の適地選定手法については、確立したものが現状のところ存在しないのも事実である。このために、公園、学校、遊戯場や駐車場等の公共スペースに設置される場合も多く見られるが、これらの公共スペースのほとんどは各地域の緊急避難場所として指定されている場合が多く、緊急避難場所と廃棄物の仮置き場が併設され、衛生上の問題が発生する可能性も出てくる。

したがって、図-3に示すような流れで、このような一時集積場(仮置き場)の適地選定を事前に行っていくことが重要となり、その手法の確立と指標化が課題となる。

また、仮置き場では、大野などが指摘した以下に示す課

図-3 仮置き場適地選定の流れ(案)

題^{4),7)}がある。

仮置き場では、廃棄物の貯留、搬入・搬出、分別、処理などの作業が仮置き場内および周辺環境へ影響を及ぼす恐れがあることから、飛散防止ネットや地下水・土壌汚染対策工を設置し、さらに防火消火対策も講ずる必要がある。また、浸出水の管理などの周辺環境への影響についても併せてモニタリングしていくことが必要であるが、このモニタリング手法についても緊急時にも迅速に対応できる手法の開発と利用促進が必要である。

3. 災害廃棄物に関する調査結果

ここでは、大規模な災害を被った地域の現況について、新潟県中越地震(発生から約2年を経過)の災害廃棄物を中心に、その現況調査結果について述べる。

3.1 仮置き場の状況

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、小千谷市および長岡市ともに、通常時よりも多量の廃棄物が発生した。被災直後・避難時における災害廃棄物(主に生活関連の廃棄物)のための仮置き場である一次集積場は、小千谷市が2か所、長岡市が1か所である。こうした生活廃棄物を中心とした災害廃棄物の後、被災家屋から生じる解体廃棄物が発生するが、この対応にあたって、小千谷市、長岡市ともに、別の箇所に仮置き場(二次集積場)を設置した。

こうした仮置き場において、2004年11月～2005年11月の間に3回の現地調査と両市の聞き取り調査を行い、以下のような結果が得られた(表-1)。

小千谷市における生活廃棄物の仮置き場のうち、山本山市民の家前広場には布団類や木くず(木製家具等)以外の廃棄物が一時集積された。この仮置き場においては、表-1に示すように、広場内の還元的なたまり水の存在、可燃ごみの周囲との温度差(5℃程度周囲よりも高いゴミ温度)、

表-1 新潟県中越地震における災害廃棄物仮置き場の現地調査結果

		小千谷市		長岡市	
一 次 集 積 場	場所	山本山市民の家前広場		西部丘陵地	
	広さ	約 0.8ha		約 1 ha	
	廃棄物の種類	可燃ごみ、埋立ごみ、缶類、廃プラスチック		混合ごみ、木くず、鉄くず、布団類、廃家電	
	第 1 回 調 査	たまり水	可燃ごみ脇 pH: 5.05 Eh: -99mV EC: 100mS/m DO: 0.83mg/L 水温: 12.4℃	その他平均 pH: 6.36 Eh: 239mV EC: 23.5mS/m DO: 4.97mg/L 水温: 12.5℃	混合ごみ脇 pH: 6.90 Eh: 113mV EC: 141mS/m DO: 2.93mg/L 水温: 10.0℃
		発生ガス	可燃ごみ周りで悪臭あり CO: 時折 5ppm H ₂ S: 0.5~5(平均 0.75)ppm		布団類周りで悪臭あり CO、H ₂ S、CH ₄ 未検出
		ごみ温度	可燃ごみ内部: 17~18℃ 可燃ごみ表面: 14℃ 地表面温度: 12℃		可燃ごみ内部: 17~18℃ 地表面温度: 12℃
		水質分析 (たまり水)	Cd,As,T,Hg: 定量下限値未満 Pb: 0.006mg/L(排水基準未満)		Cd,T,Hg: 定量下限値未満 As: 0.006mg/L(排水基準未満) Pb: 0.020mg/L(排水基準未満)
		土壌分析	Cd,Pb,As,T,Hg: 定量下限値未満		Cd,Pb,As,T,Hg: 定量下限値未満
	第 2 回 調 査	たまり水	pH: 7.21 Eh: 118mV EC: 27.7mS/m DO: 5.40mg/L		全ての廃棄物を処理済み(平成 17 年 3 月末閉鎖)。 表土を厚さ 3cm 程度取り、消毒をした後、覆土を施す。
		水質分析	Cd,Pb,As,T,Hg: 定量下限値未満		
二 次 集 積 場	場所	第二調整池脇		西部丘陵地 (一次集積場の隣)	
	広さ	約 1 ha		約 3 ha	
	廃棄物の種類	家屋解体廃棄物 (12 分類)		家屋解体廃棄物 (12 分類)	
	第 2 回 調 査	水質分析 (表流水)	Cd,Pb,As,T,Hg: 定量下限値未満		整備中につき採水できず
	第 3 回 調 査	たまり水	畳周辺: 300mS/m 腐木材周辺: 78~140mS/m		—
		発生ガス	CO、H ₂ S、CH ₄ 未検出		CO、H ₂ S、CH ₄ 未検出
		ごみ温度	木くず表面: 14℃(気温 4~5℃)		—
		水質分析 (表流水)	pH: 7.1, EC: 37mS/m BOD: 4.5mg/L,COD: 21mg/L 浮遊物質: 25mg/L Cd,Pb,As,T,Hg: 定量下限値未満		pH: 6.8, EC: 29mS/m BOD: 2.5mg/L,COD: 21mg/L 浮遊物質: 200mg/L(排水基準内) Cd,As,T,Hg: 定量下限値未満 Pb: 0.016mg/L(排水基準未満)
		土壌分析	微腐敗臭、pH: 5.7 Cd,Pb,As,T,Hg: 定量下限値未満		—

(備考) 第 1 回調査: 2004 年 11 月 24 日(小千谷市)・25 日(長岡市)に実施
第 2 回調査: 2005 年 5 月 19 日(小千谷市)・20 日(長岡市)に実施
第 3 回調査: 2005 年 11 月 16 日(長岡市)・17 日(小千谷市)に実施
長岡市の一次集積場における第 2 回調査内容は聞き取り調査による。他は、筆者らによる現地計測及び分析値

一酸化炭素や硫化水素ガスの検知、といった問題が被災直後(地震発生 1 か月後)の段階では生じていた。

長岡市における生活廃棄物の仮置き場は、市郊外の西部丘陵地の一部に 1 ha の広さで設置され、不燃・粗大ごみ、家電製品および一部の可燃ごみが一時集積された。この仮置き場では、布団類の集積箇所(仮置き場の出入り口門)で、とくに悪臭が強かったが、メタンガスをはじめ硫化水素や一酸化炭素ガスなどは検知されなかった。また、たまり水も還元的ではなかったが、排水基準以下ではあるが、若干のヒ素と鉛がたまり水の一部から検出された。

山本山市民の家前広場における調査結果は、微生物による発酵作用(とくに嫌気的環境下の)が起きていることを意味するが、徐々に冬に向かい気温も低下する時期であったことから、微生物活動も低下するので今回はとくに問題とはならなかった。

一方、西部丘陵地のたまり水から検出されたヒ素や鉛は、混合ごみ中の金属類や鉄くずなどから溶出してきた可能性が考えられる。こうした廃棄物の一時集積が長期化すれば、場合によってはより多くの重金属類が溶出する可能性も皆無ではないことを示唆しているが、翌2005年の春には、この仮置き場では、すべての災害廃棄物は処理・処分され、

仮置き場の表土を厚さ 3 cm 程度取り、消毒をした後に覆土を施すという、適切な処置がなされたのでとくに問題とはならなかった。

このように、災害廃棄物の仮置き場は、場合によっては、地下水・土壌の汚染源になりえる。とくに、遮水シートなどを施していないことが多い仮置き場は、汚染源としてのリスクが災害の長期化や大規模化に伴って増していくものと考えられる。

一方、二次集積場としての仮置き場は、解体廃棄物が中心となった。これらの仮置き場についても調査を行った結果、集積場の側面の排水路中の表流水において、長岡市では浮遊物質が若干多めではあったが、その他の有害物質も含め問題となる値(排水基準を超える値)は示されなかった。これらの仮置き場では、災害発生後、半年程度の準備期間ができ、そのために分別・管理をきちんと行うことができた。そうしたことが水質や土壌の分析結果に現れたものと思われるが、逆に言えば、こうした分別・管理が不適正な場合、周辺環境を汚染するような事態も起こりえると考えられる。

3.2 被災箇所における災害廃棄物

新潟県中越地震において、長岡市や小千谷市では復旧・復興が進んでいるが、2006 年 5 月の段階で旧山古志村(現長岡市)では住民は未だ復帰しておらず、復旧・復興が進んでいない場所も多い。

このため、震災によって全壊、半壊などの被害を受けた家屋や道路は現在もほぼ、放置されたままの状態である(写真-2)。本来、これらの家屋などは住民がいれば、適宜に維持補修、修繕などの管理がなされているので、風化や腐敗の発生は問題になることはないと考えられる。しかしながら、当地区のように放置されれば、徐々に風化、腐敗が進んでいくことになる。この腐敗物質等は、旧家などの建築資材では「土と木」が主体で問題となることは少ないが、近年の高度技術によって合成・整形された建築資材は腐敗には強いが、石膏ボードのように、その資材そのものが環境汚染の原因となることがある⁸⁾。また、土中に埋没したコンクリートは地下水の変動による酸素の供給により重金属類(例えば、六価クロム等)が溶出しやすくなり、家屋内に残された電化製品や石油化合物(例えば、プリント配線基盤やプラスチック製品など⁹⁾)などが腐食・腐敗することで、これらによる複合的汚染の発生源となることも懸念される。

そのうえ、土石流で押し流され、河川の淵などで堆積した上記の資材などは、長期的放置条件下では、好気的条件下での腐敗とは異なり、空気が不足する嫌気的腐敗となる。更にこのような腐敗が進行するにつれ、悪臭の発生も考えられ、これを消臭する対策をすれば、この消臭剤によっては、後の汚染を起こす汚染源となるなど、多くの問題が残

写真-2 放置されている旧山古志村内の状況(2006年5月撮影)

されている。

こうした事例は、新潟県中越地震にのみ見られるものではなく、他の災害の場合にも見られる。1991年の雲仙普賢岳の噴火に伴う災害においては、大野木場地区などでは民家ごと火砕流堆積物や火山灰によって覆いかぶされ、現在もその当時の姿で放置されている場所もある(写真-3)。また、2004年台風23号による土砂災害による被害を受けた家屋や公共構造物が土砂に埋まった状態などで放置されている箇所もある(写真-3)。こうした傾向は、とくに土砂災害に多く見られる傾向である。

4. 考 察

4.1 災害廃棄物による汚染発生メカニズム

地下水・土壌汚染発生の原因は、一般的には工場等の人為的行為によるものが大半で、そのほかの事例としては、旧鉱山(足尾鉱山、神岡鉱山等)¹⁰⁾からの排水によるものや自然由来の汚染(ヒ素など)¹¹⁾が知られている。また、豊島の産廃事件¹²⁾や近年の硫酸ピッチの不法投棄¹³⁾によるものなども新たな問題として提起されている。ところが、災害を起因とした地盤汚染などの問題は取り上げられた事例は乏しいように見受けられる。

新潟県中越地震における調査では、仮置き場での表層地盤の汚染が挙げられ、その対策もなされていた。また、嫌氣的腐敗も発生していた。この状況を更に広げて考察すると、仮置き場で発生した汚染の原因は災害によって持ち込

写真-3 災害によって燃焼した家屋(左上：雲仙)と土砂に埋まった家屋(右上：高松)。復興が進まず放置された護岸跡や電柱(下：香川県)。すべて、2006年春撮影

図-4 最終処分場内におけるごみの分解過程¹⁰⁾

まれた廃棄物であり、元を正せば、放置された家屋や生活資材、公共の設備の残骸である。

つまり、災害によって破壊され、管理されなくなった構造物や生活物品そのものが汚染の発生源であり、汚染発生の原因は「災害」ということになる。このように放置された廃棄物においては、廃棄物の最終処分場内での安定化に伴う汚染物質、有害ガス発生のメカニズムとほぼ同一のメカニズムになることが予測される。

こうしたメカニズムは、個々の廃棄物においては、微生物による以下のような嫌気的環境下の発酵作用を基本としている。

こうした嫌気性分解と好気性分解が処分場内の廃棄物層で進行する。このとき、地表面や空気の流れ込む箇所付近では好气的となるが、その他の場所は嫌气的となり、嫌气的な場所の有機物が消費され、酸素消費能が弱くなるとその場所に酸素が侵入し、好気性領域が内部に侵入していく。そして、最終的には分解しにくい物質へと変化し、安定化する。この過程の概略を示したものが図-4である。

ただし、森林地帯での山腹崩壊では、崩壊した土砂に森林の植物が含有されることになるが、これらが腐敗する場合には、自然環境での土壌を形成するメカニズムになり、大きな問題にはならないと考えられる。しかしこの場合、植物を含有した土砂が好气的環境にあることが重要で、地表水や地下水面以下の嫌气的環境になった場合は腐敗には可燃性のメタンガスや有害な硫化水素ガスの発生を促す結果になる。これによって、火災やガス中毒などの問題が生

じる場合もある。しかしながら、その植物がある箇所に集積して多量に堆積すれば、地表水や地下水面以上の場合でも、集積した植物の塊の内部は最終処分場同様に嫌气的になる。

一方、災害で家屋などが燃焼する場合、その中に塩素含有化合物(例えば塩化ビニル)を含む物質が存在するときに、塩素化ダイオキシンの生成をもたらす。また、カテコール、アドレナリンなどのダイオキシン先駆体の潜在能を持つ化合物は天然にも含まれ、家屋内にさまざまな形で存在するので、それらのものからも塩素化ダイオキシンが生成される可能性がある。ダイオキシン類のうち最も毒性の高い2, 3, 7, 8-TeCDDは700℃で約半分が、800℃で99.5%が分解されることがわかっているが、温度が低い燃焼の場合ダイオキシン先駆物質から多くのTeCDDが生成されてしまうと考えられている¹⁵⁾。したがって、通常の災害における家屋等の燃焼はTeCDDを発生させ、その残渣や焼却灰に濃縮させてしまうことが懸念される。

以上の状況から、被災に伴う放置物は地下水や土壌の汚染源となり、かつ、有害なガス(例えば硫化水素)の発生源となる場合があることが予測される。

また、次のような問題も懸念される。安定型処分場においては、処分場の不適正、不法な管理に伴う硫化水素ガスの発生により、死亡事故が発生することがある。図-5に示した硫化水素の発生機構に関する概念図は、致死量を超える高濃度の硫化水素ガスが発生した廃棄物処分場の例である¹⁶⁾。

この安定型処分場では、初期段階で硫化水素が発生したときに、有機物の嫌气的な腐敗と悪臭の対策として、消臭剤(硫酸第I鉄: FeSO₄)と消石灰(Ca(OH)₂)を過度に散布した。その後、過積分の廃棄物を別の場所(第二期処分場)に移動させ、硫酸第I鉄を含む廃棄物層が下にくることになり、やや嫌气的な環境が出来上がった。さらに、硫酸第I鉄中のFe(II)がFe(III)に変化する過程で、わずかに残った酸素を消費し、嫌气的な環境はさらに促進される。このとき、硫酸第I鉄からは、硫酸イオンが溶出することにな

図-5 最終処分場における硫化水素発生事故原因のイメージ図

る。こうしたことから、通性嫌気性菌である硫酸塩還元菌の活性的な環境が人為的につくられた。また、処分場内の廃棄物に含まれる石膏ボード (CaSO_4 が主成分) は、通常は硫酸塩還元菌の栄養源である硫黄 (S) を取り出しにくい。過剰散布した消臭剤から硫黄が十分に補給できた。こうした過程によって、致死量を超える硫化水素が発生してしまった。

こうしたことは、災害廃棄物の悪臭が問題になるときに、消臭剤の散布には留意する必要があることを示している。すなわち、仮置き場が避難場所と隣接し、悪臭が発生しても消臭剤の散布には注意を要する。

以上のことから、災害廃棄物の放置は、地中での腐敗を促進させることが第1の問題点として挙げられる。嫌気的な腐敗の進行やそれによる有害ガスの発生や重金属の溶出である。こうした嫌気的な腐敗は、小千谷市の仮置き場の例のように一次集積場のような短期の集積でも起こりえることに着目する必要がある。第2には、火災で発生した残存物も災害廃棄物の堆積物に含まれる場合があることである。不完全燃焼した家屋やその周辺に存在する石油製品などからはダイオキシン類の発生が考えられる。

4.2 長期化した災害廃棄物による地下水・土壌汚染と今後の課題

有機物の腐敗現象は、湿地などの自然環境下でも生じる現象であり、自然の循環システムの中で処理できる程度の量であれば、とくに問題となることは一般的にはないと考えられる。しかしながら、災害廃棄物の量が極めて膨大になり、処分場内と同程度の密度の廃棄物量となれば、その場は地下水・土壌汚染のリスクを伴う。また、避難場所の周辺ともなれば、短期的には衛生問題等も引き起こす。さらに、大規模災害において、災害復興が長期化した場合、次のような災害廃棄物による地下水や土壌を汚染する可能

図-6 災害による地盤汚染発生のイメージ図

性が懸念されることとなる。

- 1) 被災地の現況調査結果のように、家屋などが長期間放置されれば、徐々に風化、腐敗・腐食が進行していく。この結果、重金属類(例えば、六価クロムなど)や石油化合物(例えば、アスファルトやプラスチック製品など)などによる複合的汚染の発生源となることが懸念される。
- 2) 土石流や土砂崩壊によって破壊、流下、堆積した植物や生活品についても、空気が遮断された放置条件下では、嫌気的腐敗を起こすこととなり、火災やガス中毒の原因となる有害な硫化水素ガス等が発生することも懸念される。
- 3) 災害発生時などに発生した火災家屋等は、良好な条件で燃焼したとはいえず、これら残渣や焼却灰には高濃度のダイオキシン類が含有されている可能性が高い。

以上、述べたような問題は、土壌中に放置された災害廃棄物の量が少なければ社会問題とはならないであろう。しかし、近代化された現在の家屋では、廃棄物となれば汚染を起こす可能性のあるものが大量に存在する。大正時代に起きた関東大震災の廃棄物も大量であったと思われるが、当時は現在ほど家屋内に汚染にかかわるような物(家電製品など)は存在していない。したがって、とくに問題も起きなかったと思われるが、同規模の災害が現在の首都圏で起れば、深刻な環境問題を引き起こす可能性がある。

例えば、東京湾北部地震(M7.3)では、揺れ・液状化・急傾斜地崩壊で全壊約19万5,000棟との想定がなされている(このうち、液状化約3万3,000棟、急傾斜地崩壊約1万2,000棟)。解体廃棄物を約60トン/棟で単純計算すれば¹⁷⁾、その発生量は全壊だけで1,000万トンを超える可能性がある。この膨大な廃棄物の1割でも土砂の中に長期に放置されることになれば、地下水・土壌汚染のリスクは高まる。

深刻な災害の発生は、現在、スマトラ沖地震によるインド洋津波災害やパキスタン北部地震による土砂災害など世界的に発生している。わが国をはじめとした先進国は、こうした災害への対応が望まれているが、災害廃棄物の短期・長期的な対応はいずれの国も不十分であるといわざるを得ない。

ここで示した可能性については、現時点で残念ながら立証されているとは言い難いが、組織的にかつ長期的に検討をしていくことが今後は望まれ、そうしたことの準備とその後の実施が必要である。こうした取り組みが、大規模災害への取組みにもつながり、かつ、世界貢献にもつながると考えている。

5. 循環型社会の観点から見た災害と環境

災害はどちらかと言えば、比較的短い期間に人間の生息・生活環境を脅かす。これに対して、自然環境の破壊は比較的長い期間に人間の生息・生活環境を脅かす。災害廃棄物は、この両方に関連する問題である。すなわち、短期的には大量で雑多な種類の廃棄物が一時期に発生し、悪臭や硫化水素などの有毒ガスの発生、衛生問題の発生などでわれわれの生活を脅かす一方、長期に土壌中などに放置された災害廃棄物は、廃家電などからの重金属汚染や有機物の腐敗などが場合によっては懸念され、われわれの生活環境を脅かす。この意味において、災害廃棄物の問題を取り扱うことは、短期と長期を同時に考慮することになり、災害と環境の複合問題となる。

そもそも循環型社会とは、産業革命以降の資源の大量消費とそれに伴う大量の廃棄物の発生により、自然の循環システムでは追いつかなくなった現在の社会システムを、どうにかして変えようとする試みにはかならない。その試みの一つが、5Rと呼ばれるものであるが、災害時には機能し得ない実情がある。

柴崎ら¹⁸⁾が、地下水問題は社会的問題であり、これまでの自然科学・技術だけでは解決できない問題であることを指摘しているように、地下水・土壌汚染をはじめとした環境問題は、“自然科学に姿を借りた社会経済問題”である。災害廃棄物も、前述したように大量に放置されれば、土壌汚染問題を引き起こす可能性が高く、将来的には社会経済問題になっていくものと思われる。しかし、現在のところ、そうした観点の危機意識が低いのも事実である。

長期と短期の両方の観点から災害廃棄物を捉え、その解決を図ることが、今後の循環型社会に向けた課題の一つであり、こうした取り組みが、ひいては、もっと広い意味での防災も包含した環境保全対策の一助となるものと思われる。

6. お わ り に

災害発生に伴う廃棄物による短期的な環境問題やそれらの長期的な放置による地下水・土壌汚染問題について、本論にまとめた。その結果、以下の可能性が示された。

1) 分別・管理が不十分な災害廃棄物の仮置き場では、嫌気環境下での有機物の腐敗(微生物による作用)が発生する可能性が高く、周辺的生活環境を脅かす。したがって、早期の処理・処分が必要となる。

2) 分別・管理が不十分な災害廃棄物の仮置き場では、鉄くずなどからの有害重金属の溶出とそれに伴う地下水・土壌汚染などが懸念される。このため、遮水シートなどの適切な地下水・土壌汚染対策を行っておくか、早期の処理・処分が必要である。

3) 仮置き場などで、嫌気的環境下の腐敗と悪臭対策のために、硫酸第Ⅰ鉄などの消臭剤を添加し、廃棄物の移動を行うことは、廃棄物の種類によっては、事態をより悪化させる可能性がある。災害廃棄物は雑多なものが分別されていないことが多いので、とくに注意を要する。

4) 災害復旧・復興がなかなか進まず、崩壊土砂中などに長期に放置された災害廃棄物は、その量や状態にもよるが、重金属類(例えば、六価クロムなど)や石油化合物(例えば、アスファルトやプラスチック製品など)などにより複合的汚染の発生源となる可能性がある。また、嫌気的腐敗による火災や有害な硫化水素ガス等が発生したりすることも懸念される。

5) 崩壊土砂中などに長期に放置された災害廃棄物のうち、地震や火山災害などで燃焼した家屋などは、これらの残渣や焼却灰に高濃度のダイオキシン類が含有されている可能性がある。

しかし、これらの地下水・土壌汚染などについては実証例が乏しく、対策についてもほとんどその前例がない。これらは、前述のとおり、「目に見えない」もので、しかも長期的なものであるため、これまでの災害対策の範疇に収まっていないことにその原因があると考えられる。災害発生後の二次的災害の予防や防止のための対策は、道路防災や危険斜面对策において年々、確実かつ着実に行われ、社会資本の保全・整備に大きな成果を生み始めている。

したがって、今回の問題提起をもとに今後は、災害発生後の地下水・土壌汚染源の特定のための調査手法や対策手法の検討を行い、実例を見出し、モニタリングを継続していくことが必要である。

謝辞 本論の作成にあたっては、長岡市、小千谷市をはじめ、多くの各自治体職員、大学職員・研究者等の協力をいただいた。ここに深謝の意を表する。また、本連載当初から、総合科学(株)の笠原茂氏などのように、メール等で意見を寄せてくださっている方も多い。そうした意見も参考に本論を作成した。ここに感謝の意を述べる。

引用文献

- 1) 国土交通省編(2006)：国土交通白書2006—平成17年度年次報告，ぎょうせい，pp.2-6.
- 2) 土木学会誌編集委員会(2005)：土木学会誌叢書 5—火山噴火に備えて 富士山噴火はいつ，土木学会，163p.
- 3) 新潟県ホームページ：中越地震に関する情報(http://saigai.pref.niigata.jp/content/jishin/jishin_1.html)，2006年9月1日.
- 4) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会(2006)：新潟県中越地震の斜面複合災害モニタリングに関する研究—メカニズム，維持管理，景觀，生態系，廃棄物等の総合的斜面工学からの検討—(土木学会平成17年度重点研究課題)報告書，141p.
- 5) 稲垣秀輝・大久保拓郎・山中稔(2006)：火山災害の発生機構とその被害から想定される災害廃棄物，生活と環境，Vol.51，No.9，pp.27-33.
- 6) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課(2005)：水害廃棄物対策指針，平成17年6月，16p.
- 7) 大野博之・八村智明・宮原哲也(2005)：新潟県中越地震における災害廃棄物の処理・処分に関する研究，第13回地球環境シンポジウム講演論文集，pp.31-36.
- 8) 小川勝弘・小野雄策(1999)：木造家屋解体廃棄物における廃石膏ボード，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.411-413.
- 9) 小川眞佐子・酒井伸一・高月紘(1990)：廃車・廃家電シュレッダーダストの有害成分と適正処理に関する研究，第1回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.423-426.
- 10) 目次英哉(2005)：鉱害問題と発生源対策，独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構，平成17年度第1回鉱害環境情報交換会資料，37p.
- 11) 地盤工学会九州支部地盤環境調査とその計測技術に関する研究委員会編(2001)：九州・アジアにおける地盤環境の現状と課題，地盤工学会九州支部，pp.160-168.
- 12) 香川県環境森林部廃棄物対策課資源化・処理事業推進室：豊島問題ホームページ—豊島廃棄物等処理事業(<http://www.pref.kagawa.jp/haitai/teshima/>)，2006年9月1日.
- 13) 北海道環境生活部環境室循環型社会推進課(2005)：北海道における硫酸ピッチ事案への対応について，いんだすと，Vol.20，No.3，pp.10-13.
- 14) 社団法人全国都市清掃会議(1989)：廃棄物最終処分場指針解説，p.38.
- 15) 森田昌敏監訳(1991)：ダイオキシン入門，(財)日本環境衛生センター，410p.
- 16) 眞鍋和俊・八村智明・黒木瑞昭(2002)：安定型処理場における硫化水素ガス発生に関する問題，日本応用地質学会九州支部会報，GET九州，No.23，pp.1-6.
- 17) 大野博之・宮原哲也(2006)：災害廃棄物仮置き場の現状と今後の展望，生活と環境，Vol.51，No.9，pp.34-39.
- 18) 柴崎達雄編著(2004)：農を守って水を守る—新しい地下水の社会学，築地書簡，200p.

(2006年9月13日受付，2006年12月14日受理)

Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.47, No.6, pp.360-368, 2007

Possibility of the Groundwater and Land Pollution by Disaster Waste

Tomoaki HACHIMURA, Tetsuya MIYAHARA and Hiroyuki OHNO

Abstract

The waste caused by the disaster(Disaster Waste), its amount is large, and its kind is various. Then the disaster waste is exhausted in a short time. Thus, it is not treatable in a usual social system. Moreover, there is the waste left for the long term. In this paper, we examine the groundwater and land pollution caused by the disaster waste.

1) In the temporary depository of the disaster waste, there is a possibility that the organic decay under the reluctance environment is occurred. At this time, it is a possibility of the deterioration of situation caused by adding the deodorant medicine. Therefore, for the disaster waste which is various and not classified, it is necessary of early processing and disposal.

2) In the temporary depository, the elution of harmful heavy metal would be occurred, thus there is a possibility that these metals are concentrated to the groundwater and soil. Therefore, we need to execute the appropriate groundwater/soil contamination countermeasures.

3) The disaster waste left at a long term would be a source of combined pollution with heavy metals and oil compounds, etc. And, the fire/harmful gas caused by decay would generate at the deposit area of disaster waste. Therefore, we must grasp the situation change and quantity of these left wastes, and examine the countermeasure.

4) For disaster waste left at a long term, the high density dioxin would be contained in the residue and the incineration ash such as the burning houses. We need to also examine the problem of the dioxin of disaster waste.

Key words : disaster waste, ground environment, groundwater and land pollution, waste left at long-term