

ハイパースペクトルカメラを用いた災害廃棄物の種類と量の推定に関する基礎研究

Estimation of Type and Volume of Disaster Waste Using Hyperspectral Camera

羽瀨博臣* 清水祐也* 岩下将也** 吉村藤子***

要 旨

近年、気候変動等に伴い自然災害が頻発化・激甚化しており、その度に災害廃棄物が大量に発生している。自治体では、急に発生する災害廃棄物の迅速な処理のために、事前に処理計画を立案している。また、被害情報や新たな統計手法が見いだされる度に災害廃棄物の種類と量を予測・更新し、それに合わせて処理計画を更新している。しかしながら、災害廃棄物は災害の種類や発生箇所等により、種類と量が異なるため、その予測精度は十分とは言えない。予測と実績の乖離、さらには発生量の把握が遅れることで、実際の災害発生時に作られる災害廃棄物処理実行計画の策定自体が遅れ、災害廃棄物の処理効率の低下を招くこと等が問題としてある。そのため、ICT やリモートセンシング技術等により、さらに簡便かつ正確に発生量・要処理量を推計する手法の開発が望まれている。

そこで本研究では、可視光の波長領域外（900～1700nm）を撮像するハイパースペクトルカメラ（以下、HSC）に着目し、災害廃棄物の種類と量を推定する検討を行った。その結果、HSC を用いることで、災害廃棄物の種類を分類できる可能性がある、従来の分類方法の代替法となり得る等の知見が得られた。

キーワード：ハイパースペクトルカメラ、災害廃棄物、種類、発生量、推計

1. はじめに

近年、世界中で災害をもたらす異常気象が毎年のように発生し、世界各地で被害が生じている。我が国においても、平成 30 年 7 月の豪雨、令和元年 10 月の東日本台風や令和 2 年 7 月の豪雨をはじめ令和 4 年 7 月・8 月の大雨および 8 月の台風第 8 号等、毎年のように豪雨災害による被害が生じている。加えて、我が国は、地震災害も多く、平成 7 年 1 月の阪神・淡路大震災や平成 23 年 3 月の東日本大震災、令和 4 年 3 月の福島県沖を震源とする地震が発生し、各地に甚大な被害をもたらしている。

このような、自然災害等が生じる度に、大量の災害廃棄物が発生している。災害発生時に、公衆衛生の悪化を軽減させ生活環境を保全するとともに、速やかな復旧・復興を実現するためには、災害対応の関係者が連携・協力し、災害廃棄物処理を適正かつ円滑・迅速に実施することが重要である。災害廃棄物処理については、環境省の災害廃棄物対策指針²⁾（以下、指針）や過去の検証等から様々な知見が蓄積されており、自治体が策定する災

害廃棄物処理計画などに反映されている。平成 30 年 3 月には指針が改訂され、平時と被災時の取組み、災害復旧・復興までの対応および災害廃棄物処理についての実用的な技術情報が示されている。

災害廃棄物の発生量は、指針（表-1）³⁾では、発災前や発災後のフェーズに応じて、各地域の被害想定調査等の結果をもとに災害情報に基づく被害情報（被害想定）に予め設定した発生量原単位を乗じて推計される。また、災害の種類やタイミングに応じて推計方法を選択、活用することの重要性も示されている。したがって、これら災害廃棄物の発生量の推計は、災害廃棄物処理を適正かつ円滑・迅速に進めるうえでの基礎的な資料になるといえる。

他方、仮置き場への搬入済量については「現地計測や重量測定により把握する」ことが指針に示されている（表-1 の下線部）。具体的な推計方法としては、現場で直接、選別、計量して組成を分類する方法や、災害廃棄物表面を撮影した RGB 画像の 1m×1m を代表領域として、この範囲を 0.1m のメッシュで区分し、メッシュご

* 技術本部技術戦略部環境ソリューション室 ** 技術本部技術研究所環境研究グループ

*** ICT 統括センターイノベーション部

との種類を目視により分類する手法がある(図-1)4)。しかしながら、これらの方法には、重機や計量器等の手配、作業員の安全確保などが必要であり、目視作業者によって判断が異なる・判別できない、広範囲の分類を行うには効率的ではないといった問題もある。そのため、作業の効率化を目的にICT活用等により、さらに簡便かつ正確に発生量・要処理量を推計する手法の開発が望まれている⁵⁾。

そこで本研究では、可視光の波長領域外(900~1700nm)を撮像するHSCに着目し、災害廃棄物の種類と量を推定する検討を行ったので、報告する。

表-1 災害フェーズに応じた災害廃棄物発生量の推計

1. 発災前の災害廃棄物処理計画の策定又は改定時の推計
発災前に災害情報に基づく被害情報(被害想定)に予め設定した発生量原単位を乗じることで発生量を推計する。
2. 発災から2週間程度の間に行う災害廃棄物の発生量の推計
発災後に災害対策本部等から出される被害情報(建物被害棟数)に予め設定した発生量原単位を乗じることで発生量を推計する。
3. 災害廃棄物処理実行計画(発災から1か月程度)の策定時の推計
・ 片付けごみの排出が概ね終了している場合は、仮置場への片付けごみの搬入済量と今後建物の撤去により発生する量を合算することで推計する。
・ 仮置場への片付けごみの搬入済量は 現地計測により把握する 。
・ 今後建物の撤去により発生する量は、被害情報や災証明に基づく建物撤去予定棟数に予め設定した原単位を乗じるにより推計する。
4. 災害廃棄物処理実行計画の見直し時の推計
・ 発生量推計の方法と発生量原単位は、今後建物の撤去により発生する量、仮置場への搬入済量および処理施設における処理済量を合算することで推計する。
・ 仮置場への搬入済量は 現地計測や重量測定により把握する 。処理施設における処理済量は実績値を用いる。
・ 今後建物の撤去により発生する量は、残りの建物撤去予定棟数又は建物撤去申込棟数に予め設定した原単位又は処理実績に基づき見直した発生量原単位を乗じるにより推計する。

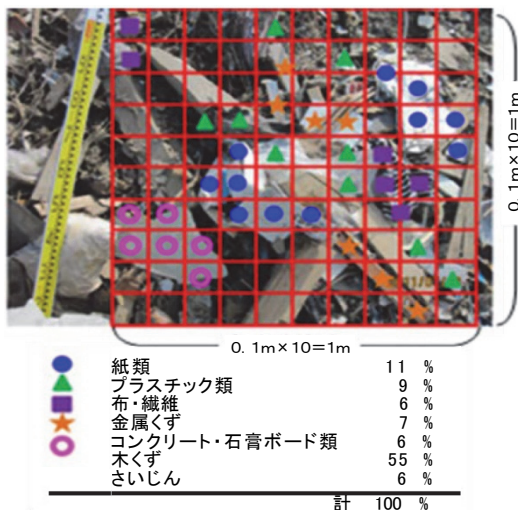


図-1 写真を用いた表面組成の分類

2. HSCの画像識別技術

一般的なカメラでは、入射光を光の三原色であるR(650nm波長)、G(550nm波長)、B(450nm波長)の3バンドに分解し、その重ね合わせによって可視光情報

(約380~750nm波長)を表現するが、HSCでは、より広範囲な波長領域を多くのバンド帯で分解することができる。例えば、本研究で用いたHSC(RESONON社製PIKANIR-320)では、図-2に示すように900~1700nmの波長領域の入射光を波長分解能4.9nmで164バンド帯に分解することができる。また、各チャンネルの波長強度を結ぶことで、スペクトルを表現することもできる。これらのスペクトル特性を分析することで、一般的なカメラでは困難な対象物の識別が可能となる。



HSC(PIKA NIR-320)の波長領域900~1700nm

図-2 HSCの波長領域

3. 実験概要

3.1 実験対象

災害廃棄物総量のうち、ある特定の組成の廃棄物量は、「総体積×組成(区分別割合)×みかけ比重」で算出される。

総体積の算出については、仮置場に集積された災害廃棄物の山の底面積をGPS測量等で、高さをレーザー距離計や水準測量等により測定して算出する方法や、トータルステーションなどの測量器機を使用して、集積された災害廃棄物の山の体積を求める既存手法等がある。みかけ比重は、廃棄物同士の空隙も含んだ体積で重量を除去して求められる値であり、体積の測定方法や測定時の状態(水分量、圧密度、他)によって値が変化し、内容物によって大きく変動するものであるが、過去の災害における実績値⁵⁾⁶⁾や、環境省が示した体積重量換算係数⁷⁾等によって推定される。

一方、災害廃棄物の組成(区分別割合)は災害ごとに異なり、発災後の仮置場での現地作業によって算定することから、HSCを導入することにより効率化と精度向上を図れる可能性があるかと判断した。

そこで本報では、HSCを用いて災害廃棄物の組成(区分別割合)を分類した、以下の3種の実験とその結果から得られた知見について報告する。

- i. 混合廃棄物の撮影実験
- ii. 不燃物および土砂の撮影実験
- iii. 集積された災害廃棄物の山の撮影実験

3.2 HSCで取得した画像の分類方法

災害廃棄物の組成(区分別割合)の算定に際し、HSCで取得した画像は汎用画像解析ソフトSpectron(RESONON社)を用いて、Spectral Angle Mapper(SAM:スペクトル角マッパー)で分類した。SAMでは、まずスペクトルがnバンド帯の場合、各素材のスペクトル情報を予め教師データ(正解データ)として機械学習させる。次に、学習させた各素材のスペクトルをn

次元空間にベクトル表示しておき、分類対象の計測されたターゲット・スペクトルをプロットしてスペクトル角が一番小さい素材ほど類似性が高いと判定して分類する。図-3に、3次元の場合のSAMの概念図を示す。

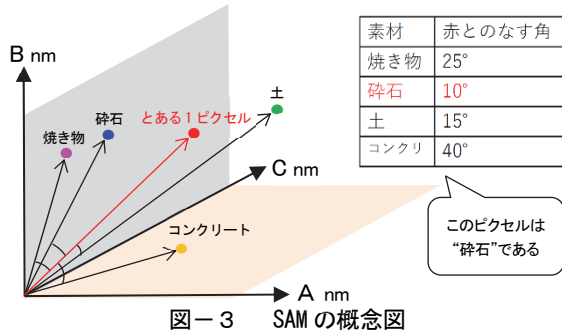


図-3 SAMの概念図

分類対象の教師画像（正解画像）は、RGB画像で撮影し、画像編集ソフトGimpに取り込み作成した。この教師画像をもとに、Gimpを用いて手作業で災害廃棄物の素材ごとの領域を区分し、領域ごとのピクセル数をカウントすることで、区分別割合を算出した。解析結果の性能評価については、ピクセル数を用いて、HSCで識別された領域と、実際の正しい領域の2つの重なり度合いを表すIoU（Intersection over Union、2つの領域の論理積を論理和で割った値）で行った。

HSCで取得した画像データは、Spectrononで読み込み、素材ごとの領域を画像上から目視で特定し、紐づけることで、その領域のスペクトル情報を機械学習させる。この学習作業をライブラリ作成という。領域の紐づけは、図-4の手法①～③に示すように、紺色が解析対象（ここではレンガ）、緑色が解析対象以外の領域といったように目視と手作業で行う。手法①では、解析対象以外の領域指定（緑色）に当たり分類対象素材とは無関係の地面や容器等を指定しているのに対し、手法②では、分類対象素材を指定し、手法③では、分類対象素材の領域を限なく指定している。実験に当たり、これら手法①～③による違いを予め検証した。その分類結果が図-4の下段の3つの画像であり、各手法のIoUを比較したものが表-2である。手法①はIoUが低く、手法②と③は、IoUに大きな差がなかったため、本報の実験では、作業効率を考慮し、手法②をライブラリ作成の方法とした。その他にも一度に複数の素材領域を指定する方法もあるが、素材一つずつの領域を指定し、解析を行う方が全34組中24組でIoUの平均値が良い値となったため、本手法を採用した。このとき、同素材の複数ピクセルを指定することになるが、これらは平均化（波長ごとに強度を平均）される。ただし、この領域指定の方法によっては更なる精度向上も見込めるため、今後の課題である。なお、Spectrononでは、プロジェクト単位でのデータ保存ができず、波長帯を抜き出しての解析もできないことから適用性に劣ることが判明したので、3.4節の実験から別の画像解析ソフトperClass Miraに変更している。

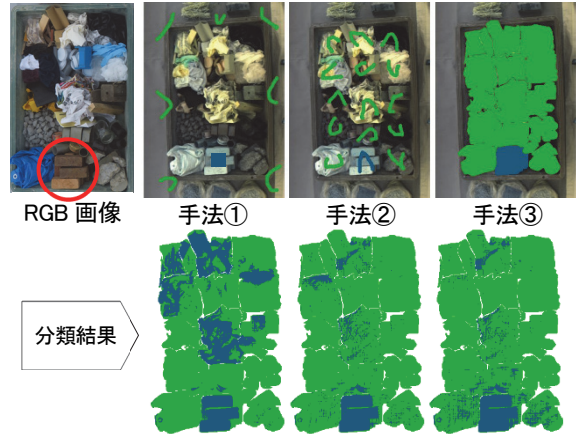


図-4 ライブラリ作成の例（レンガ）

表-2 ライブラリ作成方法によるIoU比較表（単位%）

手法	布	コンクリ	金属	砕石	レンガ	褐色ガラス	透明ガラス	木材	紙	ビニール	プラ	平均
①	26.1	9.4	9.1	13.3	18.8	6.8	4.4	16.7	27.3	32.3	29.2	17.6
②	71.6	37.3	19.5	25.7	49.5	14.7	13.4	10.8	63.4	56.8	37.2	36.4
③	71.2	32.9	20.3	40.5	47.7	15.4	12.5	22.6	63.5	59.4	36.8	38.4

3.3 混合廃棄物の撮影実験方法

HSCで混合廃棄物の識別の可能性を検証するために、発災後の仮置場に集積された混合廃棄物を想定し、撮影実験を行った。ここでは、土砂を含まない可燃物の模擬災害廃棄物を3m³ベッセル内に投入・混合し、被写体を作製した後、撮影を行った。表-3に使用した模擬災害廃棄物を示す。撮影は、HSCの準備時間や被写体の変形、飛散防止を考慮し、ベッセル内に残置したまま行った。また、次段階の実験ではHSCをUAVに搭載する計画があったため、表-4に示す撮影条件のもと直上の高さ20mから被写体の撮影を行った。被写体とHSCによる撮影状況を図-5に示す。図-6に、一例として砕石の任意の1ピクセル上のスペクトル強度を示したが、取得したスペクトルは、いずれの素材においても波長領域900～1700nmのうち、940nm近傍や1100nm近傍、1400nm近傍は大気中の水蒸気等による吸収が大きく、解析への使用に適さない。そこで、1160～1310nmあるいは1500～1700nmのスペクトル情報を取得し、1160～1310nmの場合は30のバンド帯、1500～1700nmの場合は40のバンド帯に分解してSpectrononを用いて区分別割合を算出した。表-5に各実験ケースを示す。

表-3 使用材料

区分	種類	備考
可燃物	ビニール	45L枚、厚0.03mmのポリエチレン製の業務用ゴミ袋等
	プラスチック	ポリエチレン製バケツを5cm角程度に裁断したもの等
	紙	古新聞
	布	綿製の古着をリサイクルして販売されているガス
	木材	長さ50～100mm程度の細長い形状で合板用にリサイクルするために破碎されたもの等

表-4 撮影条件

HSC	RESONON社 PIKA NIR-320
空間チャンネル数	320
1pixelのセンサ幅	30mm
レンズ焦点距離	25mm
撮影距離	20m
地上解像度 (GSD)	7.5 cm/pixel



図-5 被写体とHSCによる撮影状況

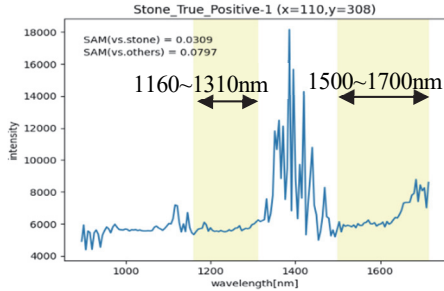


図-6 スペクトル情報の取得領域

表-5 混合廃棄物の撮影実験ケース

No	使用波長帯	各実験ケースの概要
1	1500~1700	波長帯 1500~1700nm を使用
2	1160~1310	波長帯 1160~1310nm を使用
3	1500~1700	No.1 の再現性を確認
4	1500~1700	混合前の撮影画像をもとにライブラリ作成

3.4 不燃物および土砂の撮影実験方法

HSC で不燃物および土砂の混合廃棄物の識別の可能性を検証するために、表-6に示す撮影条件で被写体の直上の高さ 2m から撮影を行った。前述の可燃物の実験において、教師データに含まれる木材の面積割合が少なく、木材の誤判定が全体的に IoU の低下を生み出したことが考えられた。また、教師画像の領域区分、ライブラリ作成時のタグ付け作業を簡略化し、人為的な誤認識を抑制するため、被写体は、各材料の体積や表面積を一定程度に保てるように、内寸 L950mm × W600mm × H187mm の容器の中に、格子状 (L190mm × W200mm × H187mm) の木枠で区分し、各格子内に表-7に示す材料を入れた。実験ケースによっては各材料を混合し、被写体とした。表-8、図-7に各実験ケースの被写体の状態を示す。波長領域は、900~1700nm のうち、1160~1310nm および 1500~1700nm の両区間のスペクトル情報を取得し、汎用画像解析ソフト perClass Mira を用いて分類解析を行った。なお、perClass Mira での分類も Spectronon と同様、スペクトル情報を基準とした類似性に基づいて行ったが、領域の指定時に一定数以上のピクセルの指定が必要という条件が Spectronon と異なる。

表-6 撮影条件

HSC	RESONON 社 PIKA NIR-320
空間チャンネル数	320
1pixel のセンサ幅	30 mm
レンズ焦点距離	25 mm
撮影距離	2 m
地上解像度 (GSD)	0.75 cm/pixel

表-7 使用材料

区分	種類	備考
不燃物	砕石	粒径 30~40mm のバザン材
	金属くず	異形棒鋼 SD345 等
	コンクリート	強度試験用供試体 φ100×200mm を破砕したもの等
	ガラス	透明 450ml カップル瓶、茶褐色スリェ瓶等
土砂	レンガ	約 150×50×50 のレンガ
	真砂土	茨城県産の真砂土

表-8 不燃物および土砂の撮影実験ケース

case	被写体の概要
2-1	ガラス以外の 5 材料について、区分けて配置、木枠あり
3-1	ガラスと土を含めた 6 材料について、混合したもの、水分なし
3-2	case3-1 を再度区分けたもの、木枠あり
3-3	case3-2 の木枠なし

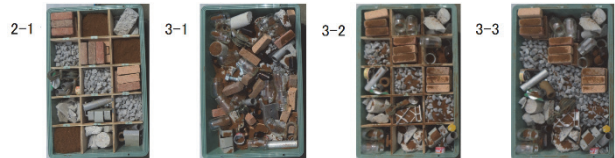


図-7 各実験ケースの模擬災害廃棄物の状態

3.5 集積された災害廃棄物の山の撮影実験方法

第 1 章で紹介した分類手法 (図-8) (以下、従来法) と HSC による分類 (以下、HSC 法) の分類精度を比較した。模擬災害廃棄物は、東日本大震災の実績⁹⁾をもとに、種類別の質量割合 (表-9) で作成し、混合後に堆積させ、日照条件が異なる側方 6 方向から HSC で撮影 (図-9) した。波長領域は、1160~1310nm および 1500~1700nm とし、画像解析は perClass Mira を用いた。

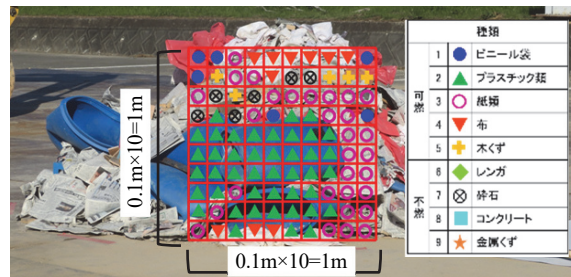


図-8 目測による分類

表-9 使用材料

災害廃棄物の種類	質量 (kg)	質量割合 (%)
1	9	24
2	26	
3	50	
4	13	
5	57	76
6	24	
7	330	
8	50	
9	77	

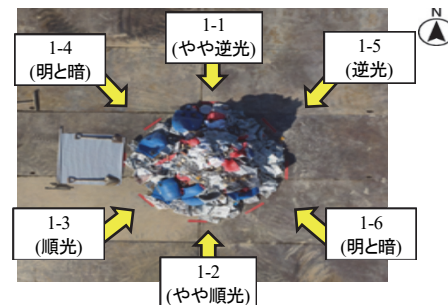


図-9 側方 6 方向からの撮影状況

4. 実験結果

4.1 混合廃棄物の撮影実験

実験ケース No.1 と No.2 は使用波長帯が異なり、No.1 は 1500~1700nm、No.2 は 1160~1310nm を使用している。No.3 と No.4 は No.1 と同じ波長帯 1500~1700nm であるが、No.3 は No.1 と No.2 と同様、撮影した画像でライブラリを作成し、No.4 は被写体を混合する前に撮影した素材の画像をもとにライブラリ作成したものを画像解析に適用している。実験ケース No. ごとの種類別の IoU を表-10 に、種類別の区分別割合（表面積割合）を図-10 に示す。IoU の結果では、No.1 の IoU 平均値が No.2 よりも 3 ポイント高く、区分別割合でも No.1 の方が No.2 よりも布を除き、教師データに近い割合であった。No.1 と No.3 では、概ね再現性が確認できているものの、No.3 と No.4 では、いずれの素材も No.3 の IoU が高く、区分別割合でも No.4 は教師データと比べ、ビニールや紙で 30 ポイント近く乖離し、同じ素材であってもライブラリ作成のタイミングや被写体形状、日照条件等が異なると IoU に差が生じることが示唆された。

表-10 実験ケース No. ごとの種類別の IoU (単位%)

No	波長帯	IoU					
		ビニール	プラ	紙	布	木材	平均
1	1500~1700	35.7	67.3	32.7	23.0	2.0	32.1
2	1160~1310	28.7	54.2	31.3	28.7	2.4	29.1
3	1500~1700	35.6	67.1	38.7	22.9	2.0	33.3
4	1500~1700	13.2	44.1	5.7	22.3	0.3	17.1

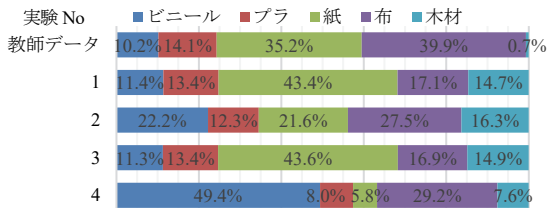


図-10 実験ケース No. ごとの種類別の区分別割合

4.2 不燃物および土砂の小規模撮影実験

実験の結果、不燃物および土砂は、総じて IoU が低い傾向にあった。面積比では、各素材の面積割合をある程度一定に保った条件下の case2-1 (表-11) の土砂、金属およびコンクリートは、正解面積比との差が 10 ポイント以下であるが IoU が低く、面積比 RMSE (二乗平均平方根誤差) も Case3-1~3-3 (表-12) と比べて最も高く、対象物でない領域も対象物と誤認識しているのが分かる。Case3-1~3-3 も同様に全体的に IoU が低く、前述の可燃物実験の IoU 平均値と比べても IoU は低い傾向にあった。個別の素材で見ると、レンガがいずれのケースも IoU が高く、金属やガラスが低い傾向にあった。また、教師データの面積割合が小さいと、IoU 低下に影響を及ぼすことが考えられたが、正解面積比が小さい case2-1 や case3-2、case3-3 のレンガの IoU が他の素材より高くなったことからすると、IoU 低下の原因になるとは言い難い結果であった。

表-11 不燃物および土砂の分類結果 (case2-1)

項目	レンガ	砕石	土砂	金属	コンクリート	平均
2-1 正解 px	11,846	13,310	13,161	11,282	10,012	-
正解面積比	19.9%	22.3%	22.1%	18.9%	16.8%	面積比
HSC px	6,682	37,744	31,563	20,576	16,004	RMSE
HSC 面積比	5.9%	33.5%	28.0%	18.3%	14.2%	8.5%
IoU	51.1%	16.0%	36.8%	6.2%	13.6%	24.7%

表-12 不燃物および土砂の分類結果 (case3-1~3-3)

項目	レンガ	砕石	土砂	金属	コンクリート	ガラス1	ガラス2	平均
3-1 正解 px	12,521	2,757	12,495	11,083	5,298	19,464	3,633	-
正解面積比	18.6%	4.1%	18.6%	16.5%	7.9%	28.9%	5.4%	面積比
HSC px	13,168	11,792	15,905	29,939	36,088	38,148	14,377	RMSE
HSC 面積比	8.3%	7.4%	10.0%	18.8%	22.6%	23.9%	9.0%	8.1%
IoU	48.0%	10.6%	18.6%	9.3%	9.1%	30.9%	18.2%	20.7%
3-2 正解 px	6,236	11,215	10,406	7,580	9,182	7,589	638	-
正解面積比	11.8%	21.2%	19.7%	14.3%	17.4%	14.4%	1.2%	面積比
HSC px	1,824	24,757	20,907	9,265	14,579	10,283	8,074	RMSE
HSC 面積比	2.0%	27.6%	23.3%	10.3%	16.3%	11.5%	9.0%	5.8%
IoU	26.0%	22.5%	23.7%	14.4%	25.5%	16.3%	4.7%	19.0%
3-3 正解 px	6,905	16,151	9,966	11,351	9,090	8,629	634	-
正解面積比	11.0%	25.7%	15.9%	18.1%	14.5%	13.8%	1.0%	面積比
HSC px	6,126	28,188	19,579	10,914	19,814	7,778	6,348	RMSE
HSC 面積比	6.2%	28.5%	19.8%	11.1%	20.1%	7.9%	6.4%	5.2%
IoU	39.4%	23.5%	23.2%	10.1%	22.9%	15.6%	6.6%	20.2%

※ガラス1は茶褐色ガラス、ガラス2は透明ガラス

4.3 集積された災害廃棄物の山の撮影実験

従来法と HSC 法の表面積割合を比較した結果、両者は同等であった (表-13)。従来法は作業者が人為的に判別するため、例えば、Case1-2 の従来法には、金属 1.6%を 0.0%、コンクリート 0.0%を 2.0%のように、「ある」ものが「ない」、「ない」ものが「ある」といった人的ミスが所々あったのに対し、HSC 法は見落としがない結果であった。各ケースの画像解析結果を表-14 に示す。順光下の Case1-3 の面積比 RMSE が 4.5%と最も低い値であるが、IoU 平均値で見ると Case1-2 の 46.0%の方が若干高いため、Case1-3 は対象物とは異なる領域を判定していると考えられる。また、全体的に逆光や影があると識別精度が低下する傾向であった。Case1-3 の表-13 従来法と HSC 法の表面積割合の比較 (単位%)

種類	Case1-1 (やや逆光)			Case1-2 (やや順光)			Case1-3 (順光)		
	教師	従来法	HSC	教師	従来法	HSC	教師	従来法	HSC
1 ビニール	11.6	14.0	9.3	4.8	8.0	3.8	7.3	6.0	5.1
2 プラスチック	25.4	13.0	11.2	30.0	19.0	20.7	32.7	43.0	25.9
3 紙	45.2	30.0	22.0	46.8	54.0	36.9	39.3	30.0	35.1
4 布	8.8	21.0	5.8	8.7	4.0	5.1	11.8	10.0	7.5
5 木材	3.8	4.0	18.9	3.4	7.0	11.6	3.5	5.0	9.4
6 レンガ	0.4	0.0	4.0	0.1	0.0	3.9	0.7	0.0	1.3
7 砕石	1.7	3.0	8.7	4.5	6.0	10.6	3.5	6.0	9.3
8 コンクリート	2.7	6.0	10.9	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9 金属	0.4	0.0	9.3	1.6	0.0	7.4	1.3	0.0	6.5
10 不明	-	9.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0
計	100.0	100	100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

種類	Case1-4 (明と暗)			Case1-5 (逆光)			Case1-6 (明と暗)		
	教師	従来法	HSC	教師	従来法	HSC	教師	従来法	HSC
1 ビニール	9.6	10.0	6.8	12.7	12.0	9.7	6.6	7.0	4.3
2 プラスチック	27.7	22.0	17.0	13.5	10.0	9.4	21.1	17.0	14.4
3 紙	46.4	41.0	30.0	58.1	45.0	30.7	56.4	50.0	38.9
4 布	9.0	10.0	8.8	5.8	4.0	8.3	6.1	4.0	10.4
5 木材	3.1	6.0	6.9	4.2	0.0	12.9	3.6	3.0	10.5
6 レンガ	0.4	1.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7 砕石	2.1	4.0	8.3	3.2	0.0	18.3	3.8	2.0	14.8
8 コンクリート	1.5	1.0	13.5	1.8	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0
9 金属	0.3	0.0	3.3	0.9	0.0	5.1	2.5	0.0	6.8
10 不明	-	5.0	0.0	-	29.0	0.0	-	17.0	0.0
計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

RGB 画像を図-11、プラスチック類のライブラリ作成画像を図-12、解析画像のうち、IoU が 91.3%と最も高いプラスチック類を図-13、67.8%の紙類を図-14、6.3%と最も低い金属を図-15 に示す。各図とも紺色が解析対象、緑色が解析対象以外の領域である。

表-14 各材料の画像解析結果

Case	ビニール	プラ	紙	布	木材	レガ	砕石	コンクリート	金属	平均
Case 1-1	11,255	24,710	43,947	8,576	3,669	423	1,602	2,619	342	—
正解 px	11.6%	25.4%	45.2%	8.8%	3.8%	0.4%	1.6%	2.7%	0.4%	RMSE
HSC 面積比	9.3%	11.2%	21.9%	5.8%	18.9%	4.0%	8.7%	10.9%	9.3%	11.5%
IoU	42.3%	88.4%	63.9%	51.5%	6.6%	3.3%	4.4%	8.1%	1.3%	30.0%
Case 1-2	4,616	28,723	44,748	8,324	3,233	137	4,277	—	1,566	—
正解 px	4.8%	30.0%	46.8%	8.7%	3.4%	0.1%	4.5%	—	1.6%	RMSE
HSC 面積比	3.8%	20.7%	36.9%	5.0%	11.6%	3.9%	10.6%	—	7.4%	6.3%
IoU	62.7%	93.0%	78.0%	84.6%	16.5%	2.5%	20.6%	—	10.2%	46.0%
Case 1-3	7,055	31,626	37,999	11,360	3,346	660	3,416	—	1,210	—
正解 px	7.3%	32.7%	39.3%	11.8%	3.5%	0.7%	3.5%	—	1.3%	RMSE
HSC 面積比	5.1%	25.9%	35.1%	7.5%	9.4%	1.3%	9.3%	—	6.5%	4.5%
IoU	50.5%	91.3%	67.8%	61.7%	20.2%	33.3%	20.1%	—	6.3%	43.9%
Case 1-4	9,017	25,910	43,415	8,394	2,893	384	1,952	1,397	296	—
正解 px	9.6%	27.7%	46.4%	9.0%	3.1%	0.4%	2.1%	1.5%	0.3%	RMSE
HSC 面積比	6.8%	17.0%	30.0%	8.8%	6.9%	5.4%	8.3%	13.5%	3.3%	8.2%
IoU	40.3%	80.2%	68.0%	39.9%	11.4%	3.6%	8.7%	5.4%	2.7%	28.9%
Case 1-5	12,045	12,808	55,196	5,497	3,960	—	3,033	1,664	847	—
正解 px	12.7%	13.5%	58.1%	5.8%	4.2%	—	3.2%	1.8%	0.9%	RMSE
HSC 面積比	9.7%	9.4%	30.7%	8.3%	12.9%	—	18.3%	5.6%	5.1%	11.1%
IoU	39.2%	67.4%	55.5%	33.0%	10.4%	—	7.6%	9.3%	7.9%	28.8%
Case 1-6	6,354	20,417	54,645	5,941	3,471	—	3,672	—	2,426	—
正解 px	6.6%	21.1%	56.4%	6.1%	3.6%	—	3.8%	—	2.5%	RMSE
HSC 面積比	4.3%	14.4%	38.9%	10.4%	10.5%	—	14.8%	—	6.8%	8.9%
IoU	54.1%	78.1%	73.7%	29.0%	15.2%	—	12.3%	—	10.2%	38.9%



図-11 Case1-3 RGB 画像



図-12 ライブラリ (Case1-3 プラスチック)

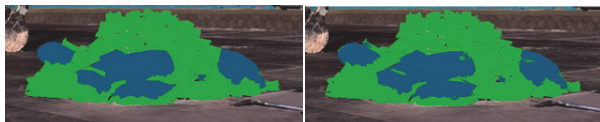


図-13 Case1-3 プラスチック (左:教師、右:HSC)

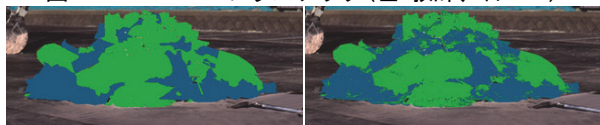


図-14 Case1-3 紙 (左:教師、右:HSC)

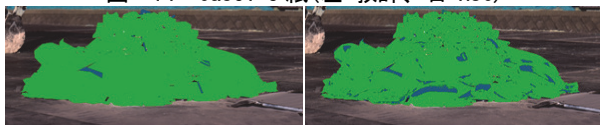


図-15 Case1-3 金属 (左:教師、右:HSC)

5. 考察

IoU は一辺 9cm の正方形が縦横方向に 1/9 (1cm) ズレただけでも、 $64 \div 98 = 0.65$ になる中、プラスチックは概ね 60%以上の IoU が得られた。また、災害廃棄物量は、IoU が低くとも面積比がある程度合っていれば、体

積とみかけ比重を乗じることで推定できるため、個別の素材や適用場面によっては分類できる可能性がある。しかしながら、HSC による分類は、土砂の付着や日照、表面の乾燥状態等により、スペクトル特性が大きく異なるため、特に日照条件が異なると事前のライブラリ作成が難しく識別に影響する。画像の分類手法も、例えば、SAM はベクトルの角度をみており、強度は考慮されていないため、反射強度が全体的に異なっても、スペクトルの形状 (=SAM の角度) が似ていれば、類似性が高いと判定される。個別の素材でみても、不均一な素材や、金属などの素材は識別が難しいこと等が明らかとなり、実際の災害廃棄物はさらに多種多様であることを鑑みると、分類手法や使用波長帯を素材ごとに設定する、撮影時に光源を一定に保つための工夫、設備の付加等が必要になると考える。これらの点は、今後の課題である。

6. まとめ

HSC による災害廃棄物の種類の分類に関して、得られた知見を以下にまとめる。

- i. HSC を用いて、種類が分類できる可能性がある
- ii. HSC による分類は、適用場面を限定する
- iii. HSC 法は、従来法の代替となり得る

実用化に向けては、更なる精度向上と画像データや経験の蓄積が必要である。

【参考文献】

- 1) 多島 良、平山修久、高田光康、宗 清生、大迫政浩、「災害対応マネジメントの観点からみた災害廃棄物発生量推計方法の現状と展望」、廃棄物資源循環学会論文誌 Vol.29、pp.104-118、2018
- 2) 環境省環境再生・資源循環局災害廃棄物対策室、「災害廃棄物対策指針 (改定版)」、2018
- 3) 環境省環境再生・資源循環局災害廃棄物対策室、「災害廃棄物対策指針 (改定版)」、技 14-2 災害廃棄物等の発生量の推計方法、2018
- 4) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部、「東日本大震災等の経験に基づく災害廃棄物処理の技術的事項に関する報告書」、pp.5-14、2017
- 5) 高月 紘、酒井伸一、水谷 聡、「災害と廃棄物性状—災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化—」、廃棄物学会誌、Vol.6、No.5、pp.351-359、1995
- 6) 宮城県環境生活部震災廃棄物対策課、「災害廃棄物処理業務の記録」、p.249、2014
- 7) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課長、「産業廃棄物管理票に関する報告書および電子マニフェストの普及について (通知)」、環産産 061227006 号、2006
- 8) 環境省災害廃棄物対策情報サイト、「災害廃棄物等の発生量の推計 資料 2」、2013