

The 3rd UN World Conference on Disaster Risk Reduction in Sendai
PUBLIC FORUM
第三回国連防災世界会議フォーラム

**Fast Estimation of the disaster debris
for immediate recovery from the disaster**
**被災からの早期復旧へ向けた
高速な災害廃棄物量推定**

Forum Abstract
フォーラム概要

Laboratory of Multidisciplinary Research on the Circulation of Waste Resources,
Sendaikankyo Co. Endowed Lab, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku
University

東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域
(仙台環境開発株式会社寄付講座)

Mar 15, 2015, Sendai Civic Auditorium, Meeting room 1,
2015年3月15日 9:00~11:00 仙台市市民会館会議室 1

第3回国連防災会議フォーラム

被災からの早期復旧へ向けた
高速な災害廃棄物量推定

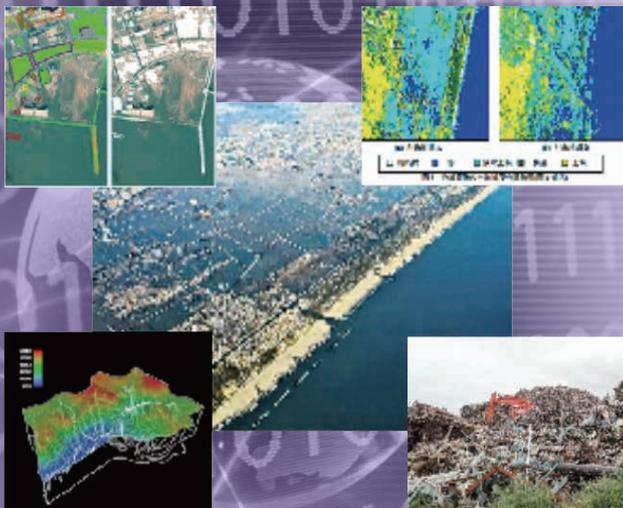
東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域
(仙台環境開発株式会社寄附講座)

2015
3/15
SUN

9:00~11:00

仙台市民会館 会議室 1 (50人収容)

仙台市青葉区桜ヶ岡公園 4-1, 電話 022-262-4721



フォーラム概要

巨大自然災害により壊滅的被害を受けた被災地の速やかな復旧には、災害廃棄物量の推定をはじめとする被災状況の情報収集と分析が不可欠である。本フォーラムでは、「リモートセンシングと航空写真による災害廃棄物量(種類、範囲、量)を高速に推定する研究」、「災害廃棄物輸送計画の展望」、及び、「統合型水循環シミュレーションによる水資源管理システム」に関する最新の研究動向とその防災への適用可能性について紹介する。

9:00 開場

9:10~9:15 フォーラム概要

大内 東 東北大学大学院環境科学研究科
客員教授

9:15~9:35 震災廃棄物量の推定を目的とした
リモートセンシングデータ解析

景山陽一 秋田大学大学院工学資源学研究所
教授

9:35~10:05 航空写真の画像解析による
災害廃棄物量推定

山本雅人 北海道大学大学院情報科学研究科
教授

10:05~10:25 災害廃棄物輸送計画の
展望と課題

岸 邦宏 北海道大学大学院工学研究院
准教授

10:25~10:45 統合型水循環シミュレーション
による水資源管理システムの
構築

山村 寛 中央大学理工学部人間総合理工学科
助教

10:45 閉会



仙台環境開発株式会社



UN World Conference on
Disaster Risk Reduction
2015 Sendai Japan



TOHOKU
UNIVERSITY

被災からの早期復旧へ向けた高速な災害廃棄物量推定

東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域 (仙台環境開発株式会社寄附講座)

日時：9時～11時、2015年3月15日(日)

場所：仙台市民会館 会議室1 (50人収容)

9:00～ 9:10 開場

9:10～ 9:15 フォーラム概要 大内 東 (東北大学大学院環境科学研究科客員教授)

9:15～ 9:35 震災廃棄物量の推定を目的としたリモートセンシングデータ解析 景山陽一、(秋田大学大学院工学資源学研究科教授)

9:35～10:05 航空写真の画像解析による災害廃棄物量推定 山本雅人 (北海道大学大学院情報科学研究科教授)

10:05～10:25 災害廃棄物輸送計画の展望と課題 岸 邦宏 (北海道大学大学院工学研究院准教授)

10:25～10:45 統合型水循環シミュレーションによる水資源管理システムの構築 山村 寛 (中央大学理工学部人間総合理工学科助教)

10:45～11:00 閉会

被災からの早期復旧へ向けた高速な災害廃棄物量推定

東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域（仙台環境開発株式会社寄附講座）

フォーラム趣旨

大内 東

東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域（仙台環境開発株式会社寄附講座）
客員教授

概要：

東日本大震災に代表される大規模な家屋の倒壊を含む災害時において、復旧に向けた迅速な対応や取組みを総合的に行うためには、災害廃棄物（量、種類、分布）をより早く正確に推定する必要がある。しかしながら、津波などの被害で被災地への交通手段が途絶えた状況では災害直後に被災地から得られる情報は乏しく、被災地の被害状況の早期把握は困難であるため、災害がれき量の推定を短時間で行う手段は確立していない。被災地から得られる数少ない情報を活用し、すばやく被害状況を把握する手段の確立が望まれる。本研究は、被災地上空で撮影される航空写真と衛星画像によるリモートセンシングデータを活用し、両手法の長所を生かし、欠点を行う災害廃棄物推定システムの構築を目指す研究である。

本フォーラムでは、「リモートセンシングと航空写真による災害廃棄物量（種類、範囲、量）を高速に推定する研究」、「災害廃棄物輸送計画の展望」、及び、「統合型水循環シミュレーションによる水資源管理システム」に関する最新の研究動向とその防災への適用可能性について紹介する。

災害廃棄物推定量推定システムの開発研究

広範囲における廃棄物量の分布、内容、量を迅速に推定するシステム
航空写真と衛星データの両方を使い分けることにより、両データの特長を利用したシステム開発が可能である

リモートセンシング
広範囲かつ短時間でデータが取得できる。
写真解像度を上げて、必要な場所のデータ取得が可能。

航空写真
震災前後の航空写真を比較して短時間で自動でがれき量を推定

東北大学大学院環境科学研究科
アジア資源研究所
〒980-8579 仙台市青葉区
ト: <http://www.aplbe.m.jp/>

■ 廃棄物 ■ 瓦 ■ 破木片 ■ 鉄片 ■ 土塊

※1 本報記者の土壌調査結果に基づき作成

[ID:163] 大震災と減災対策

被災からの早期復旧へ向けた高速な災害廃棄物量推定

(東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域(仙台環境開発株式会社寄附講座))

震災廃棄物量の推定を目的としたリモートセンシングデータ解析

景山 陽一

秋田大学大学院工学資源学研究科

教授

概要：

東日本大震災から得た教訓の 1 つとして、大規模震災発生時には、震災廃棄物量の推定などを速やかに行い、その後の復旧活動を迅速かつ効果的に行うことのできるシステムの開発がある[1]。また、広域性・周期性などの特徴を有するリモートセンシングデータを用いて、震災廃棄物量の推定を行うことは、その後の復旧活動を迅速かつ効果的に行う上で有用である。分解能が 10m~30m 程度のリモートセンシングデータは、1 枚の画像で広範囲の被災地を撮影可能であること、ならびに低コストであるといった利点を有する。しかしながら、精密な震災廃棄物量の推定を行うためには、データの地上分解能に埋もれた情報を推定する手法の開発が必要である。

そこで本発表では、ミクセル(複数の土地被覆物が複合した DN(Digital Number)値を合わせ持つ混合画素)を推定[2]して得られた結果を基に、リモートセンシングデータの地上分解能を疑似的に向上させる手法[3]を紹介する。

本研究では、宮城県の沿岸地域を対象とし、2011年3月14日に人工衛星 Thailand

Earth Observation System (THEOS)によって取得されたデータ(可視域 3 バンド、近赤外域 1 バンド：地上分解能 15m)を用いた。

データ解析の流れを図 1 に示す。また、処理の概要を以下にまとめる。はじめに、設定した 5 クラス(①建築物、②海、③浸水土壤、④植生、⑤土壤)に対応すると判断される画素をオペレータが各クラスにつき 40 点抽出し、これを教師データとした。次に、算出した教師データを基に、簡略化ファジィ推論法によるミクセルのクラス混在率推定法[2]を用いてクラス占有率を算出した。さらに、ピュア画素とミクセルの分解を行った。すなわち、分類結果に“浸水土壤”クラスが含まれない場合、各バンドデータの DN 値を用いて算出したクラス占有率において、クラス占有率が T_1 以上の画素を単一クラスから構成されるピュア画素とした。一方、分類結果に“浸水土壤”クラスが含まれる場合、テクスチャ特徴量を用いて算出したクラス占有率において、“浸水土壤”クラスの占有率が T_2 以上の画素を“浸水土壤”クラスから構成されるピュア画素とした。

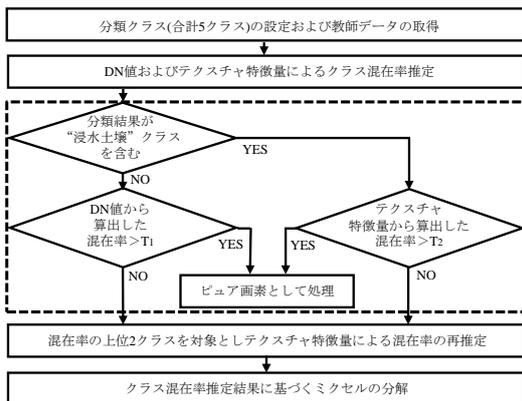


図1 処理の流れ

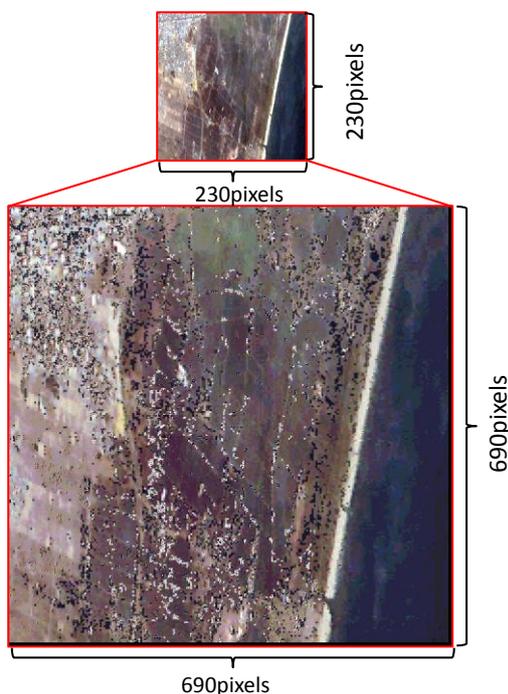
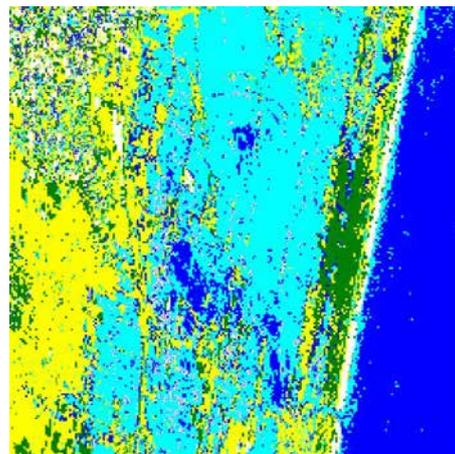


図2 拡大処理結果

上記処理において、ピュア画素以外の画素をミクセルとして分類する。なお、ミクセルはテクスチャ特徴量を用いて、クラス占有率の高い上位 2 クラスにおける占有率の再推定を行った。最後に、ミクセルの占有率と位置情報を用いて画素の分割を行い、分解能を疑似的に向上させた。

対象画像の拡大結果を図 2 に示す。原画像における 1 画素は、提案手法により 9



Buildings
 Sea
 Flooded soil
 Vegetation
 Soil

図3 分類処理結果

画素に分割され、すべての画素がピュア画素で表現されている。このため、土地被覆の状況および被覆物の境界は明確であることがわかる。分類結果を図 3 に示す。基準画像との一致率は 90.44% であり、手動により作成した基準画像と高い割合で一致していることが明らかになった。

参考文献

- [1] 高谷敏彦, 佐藤真哉, 大内東, “東日本大震災から学ぶ災害廃棄物量推定システムに関する考察”, 情報処理学会 第 74 回全国大会, 3B-4(2012).
- [2] 西田眞, 大塚敬, 田畑亮, “ファジィ推論によるミクセルのクラス混在率推定”, 電気学会論文誌 C, Vol.116-C, No.3, pp.359-366 (1996).
- [3] 景山陽一, 比佐光一, 大内東, 高谷敏彦, 西田眞, “震災廃棄物量の推定を目的とした THEOS データにおけるミクセル分解法”, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.26, No.2(印刷中).

[ID:163] 大震災と減災対策
被災からの早期復旧へ向けた高速な災害廃棄物量推定
(東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域(仙台環境開発株式会社寄附講座))

震災廃棄物量の推定を目的とした リモートセンシングデータ解析

秋田大学大学院 工学資源学研究科
教授 景山 陽一



背景・目的

本研究の目標

リモートセンシングデータによる震災廃棄物量推定法の開発

データの分解能を疑似的に向上させることで、
広範囲かつ高分解能の条件下において、詳細な状況把握が可能

目的

DN(Digital Number)値およびテクスチャ特徴量を併用することで、
複数の土地被覆物から構成されるミクセルを分解し、データの
地上分解能を疑似的に向上させる手法の開発

背景・目的

◆ 東日本大震災の復旧・復興計画

震災廃棄物量の推定が必要

すべての処理に係る最優先事項

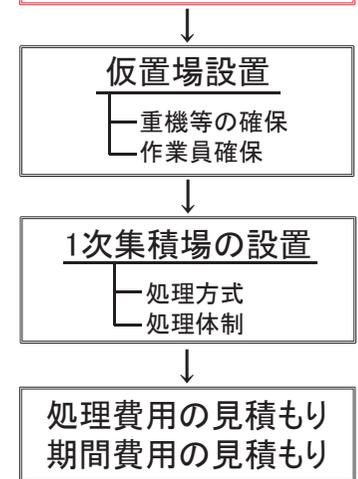
広範囲の廃棄物量を迅速に
推定するシステムが必要

◆ リモートセンシング

人工衛星から対象物に物理的な
接触を持つことなく測定可能

特徴: 広域性・瞬時性・周期性

震災廃棄物量の推定

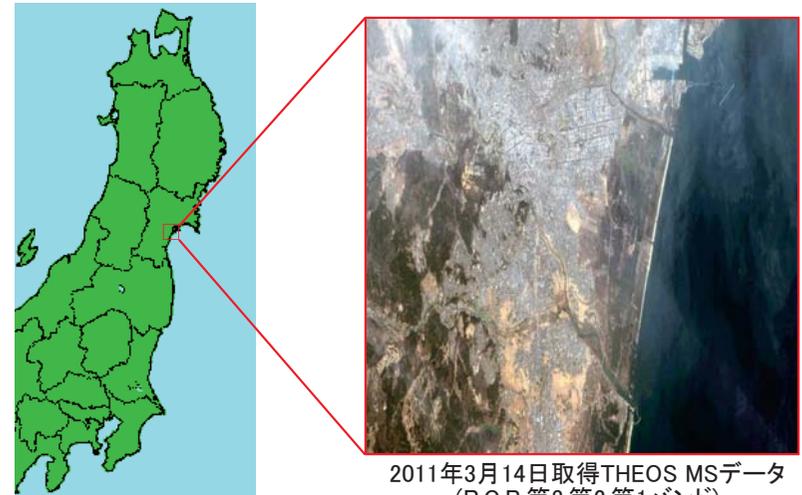


震災廃棄物処理計画フロー⁺

⁺ 高谷, 佐藤, 大内:「東日本大震災から学ぶ災害廃棄物量推定システムに関する考察」,
情報処理学会 第74回全国大会, 3B-4(2012)

対象地域

◆ 宮城県仙台市周辺を対象



2011年3月14日取得THEOS MSデータ
(R,G,B;第3,第2,第1バンド)

対象地域(宮城県仙台市周辺)

使用データ

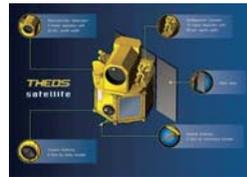
◆ タイ地理情報宇宙開発機構の地球観測衛星

THEOS(Thailand Earth Observation System)

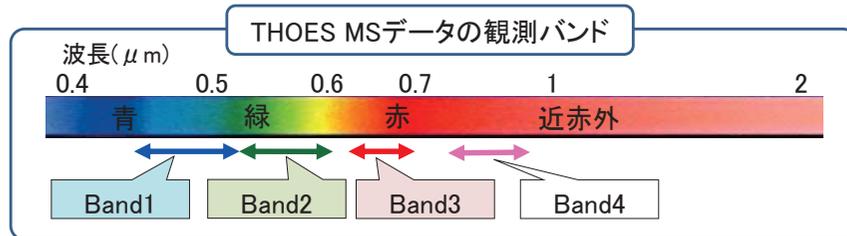
◆ 対象データ

マルチスペクトルカメラ(MS)から取得されたデータ

地上分解能: 15m
観測幅: 90km



人工衛星THEOS †

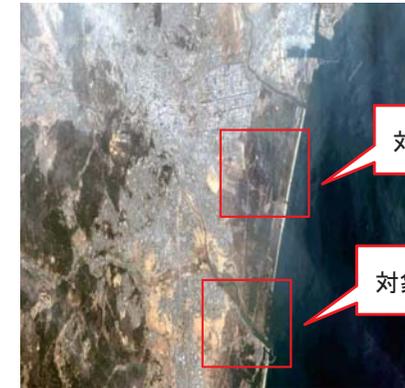


† タイ地理情報宇宙開発機構(GISTDA)WEBサイト: <http://www.gistda.or.th>

使用データ

THEOS MSデータ

- ◆ 2011年3月14日撮影
- ◆ 各対象地域は浸水による被害のあった領域を選定
- ◆ 各対象地域を230pixel × 230pixelに切り出し



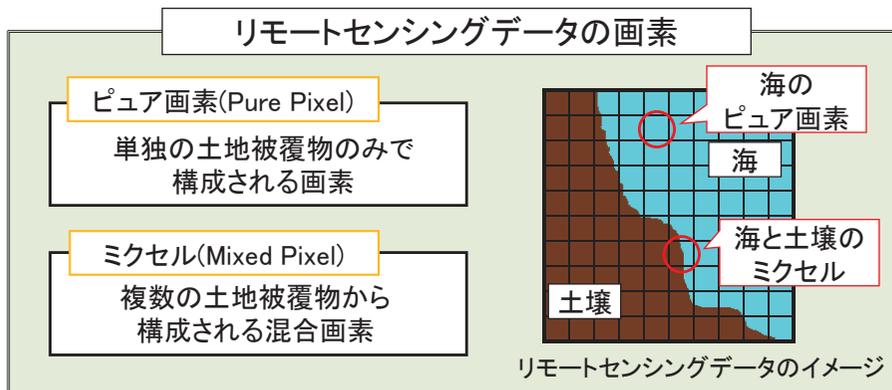
対象地域A

対象地域B

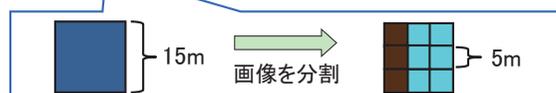
THEOS MSデータ(2011年3月14日取得: R,G,B;第3,第2,第1バンド)

ミクセル分解法

ミクセルの分解

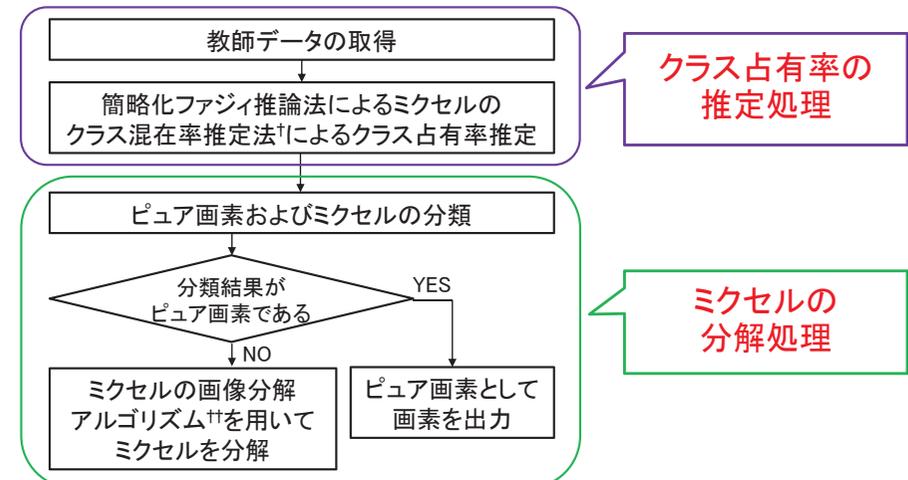


ミクセルを分解することで、分解能に埋もれた詳細な情報の取得が可能



ミクセル分解法

ミクセル分解の流れ



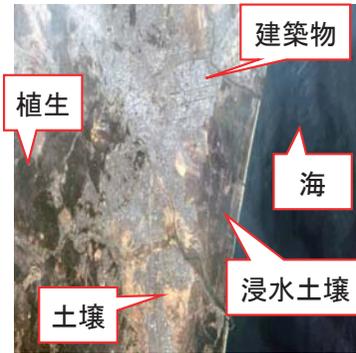
† 西田, 大塚, 田畑:「ファジィ推論によるミクセルのクラス混在率推定」, 電学論C, 116-C, 3, pp.359-366 (1996)

†† 景山, 西田:「リモートセンシングデータにおけるミクセルの画像分解アルゴリズム」, 電気学会論文誌C, Vol.121-C, No.5, pp.961-966 (2001)

クラス占有率の推定処理

① 教師データの取得

- ◆ 分類クラスを5クラス設定 (建築物, 海, 浸水土壤, 植生, 土壤)
- ◆ 各クラス40点の画素を抽出
- ◆ 各教師データにおける**バンドデータのDN値とテクスチャ特徴量**ごとに平均・分散を算出



教師データの取得例(2011年3月14日取得:R,G,B;第3,第2,第1バンド)

クラス占有率の推定処理

① 教師データの取得

- ◆ 分類クラスを5クラス設定 (建築物, 海, 浸水土壤, 植生, 土壤)
- ◆ 各クラス40点の画素を抽出
- ◆ 各教師データにおける**バンドデータのDN値とテクスチャ特徴量**ごとに平均・分散を算出

テクスチャ特徴量における各クラスの教師データの平均・分散の算出値

設定クラス \ バンド	第1バンド		第2バンド		第3バンド		第4バンド	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散
建築物	20.00	10.95	18.26	9.67	19.58	9.87	19.60	5.52
海	2.98	1.08	4.06	1.07	6.38	1.11	3.06	0.66
浸水土壤	7.11	0.90	6.59	0.63	8.51	0.29	6.88	0.66
植生	5.38	0.23	5.11	0.09	5.93	0.21	19.49	3.21
土壤	15.89	1.37	12.04	0.72	11.44	0.90	19.52	2.07

クラス占有率の推定処理

① 教師データの取得

- ◆ 分類クラスを5クラス設定 (建築物, 海, 浸水土壤, 植生, 土壤)
- ◆ 各クラス40点の画素を抽出
- ◆ 各教師データにおける**バンドデータのDN値とテクスチャ特徴量**ごとに平均・分散を算出

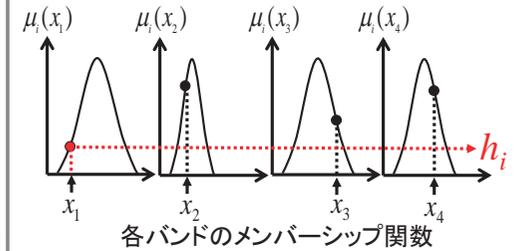
DN値における各クラスの教師データの平均・分散の算出値

設定クラス \ バンド	第1バンド		第2バンド		第3バンド		第4バンド	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散
建築物	50.50	7.35	50.75	8.94	58.28	6.85	52.60	6.79
海	18.58	1.09	25.18	1.14	37.08	1.12	14.80	1.36
浸水土壤	25.90	1.54	30.28	1.15	40.48	0.90	22.70	5.61
植生	25.03	6.12	29.15	3.78	38.85	3.08	44.43	32.44
土壤	38.05	7.80	36.98	5.37	43.38	3.08	47.78	17.67

クラス占有率の推定処理

② 簡略化ファジィ推論法によるクラス占有率の推定†

教師データの平均・分散から正規分布型メンバーシップ関数を作成



入力値と各規則との適合度 h_i を min 演算で算出

$$\text{占有率: } \vec{Z}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \vec{Z}_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

確定値 \vec{Z}_i を適合度 h_i で加重平均し出力 \vec{Z}_0 を算出

$$\vec{Z}_i = (a_{i1}, \dots, a_{iN})$$

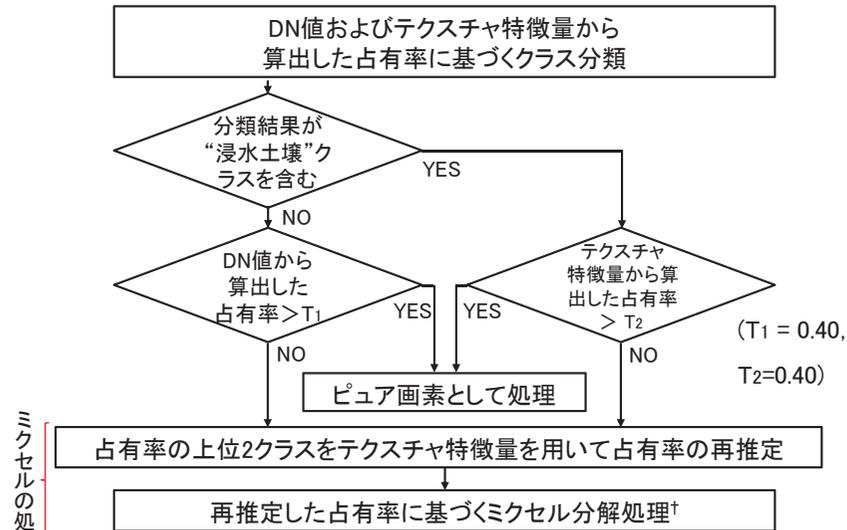
: 各規則における設定帰属性

$$\vec{Z}_0 = (a_1, \dots, a_N)$$

: 推定した占有率の出力変数

ミクセルの分解処理

提案手法によるミクセルの分解

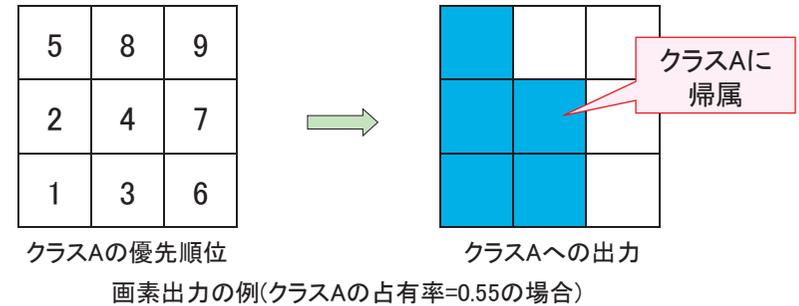


† 景山, 西田:「リモートセンシングデータにおけるミクセルの画像分解アルゴリズム」, 電気学会論文誌C, Vol.121-C, No.5, pp.961-966 (2001)

ミクセルの分解処理

ミクセル分解処理[†]の概要

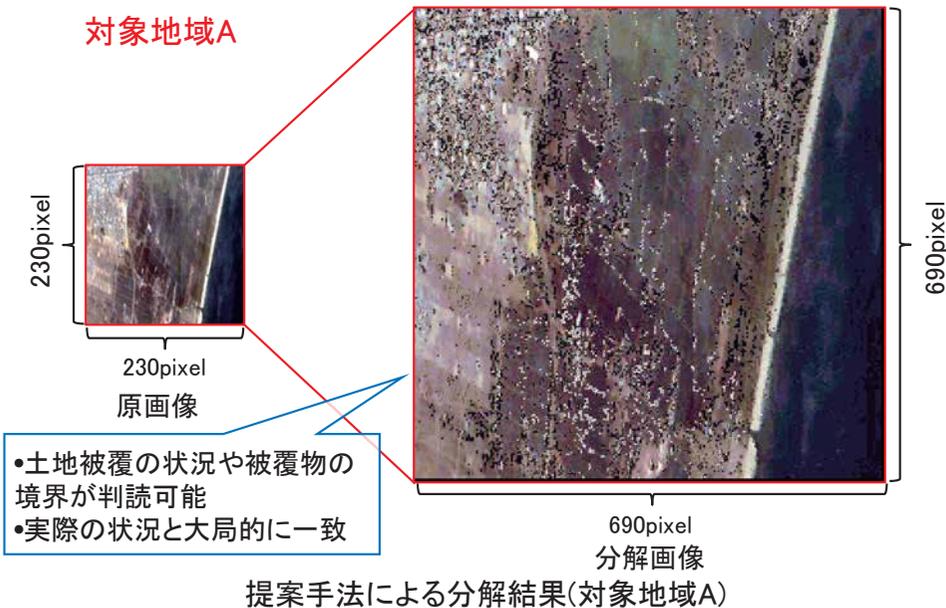
- ① クラスAに帰属させる画素の優先順位を算出
- ② 優先順位および原画像の占有率に基づき, クラスAのピュア画素を出力



† 景山, 西田:「リモートセンシングデータにおけるミクセルの画像分解アルゴリズム」, 電気学会論文誌C, Vol.121-C, No.5, pp.961-966 (2001)

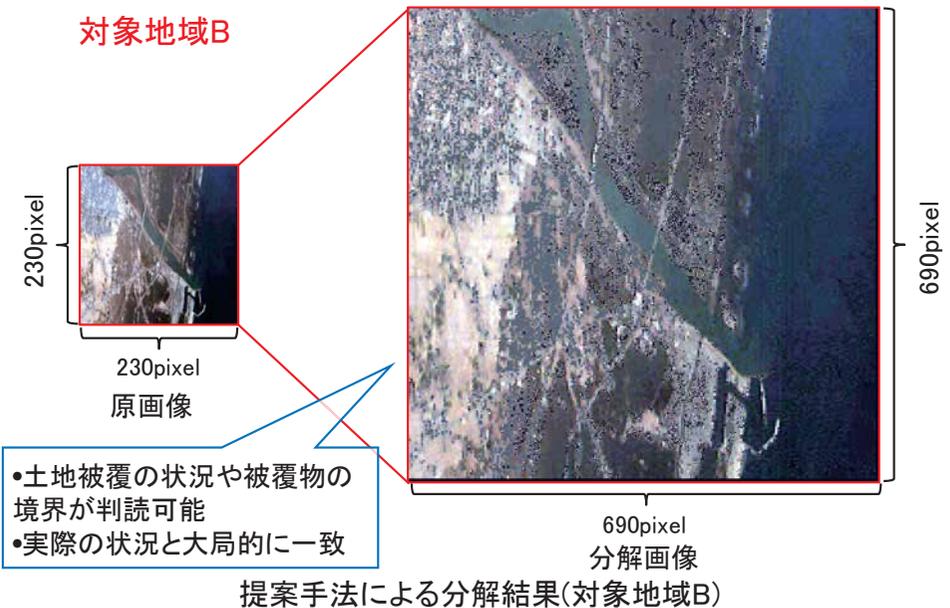
ミクセル分解結果および検討

(1) ミクセル分解結果



ミクセル分解結果および検討

(1) ミクセル分解結果

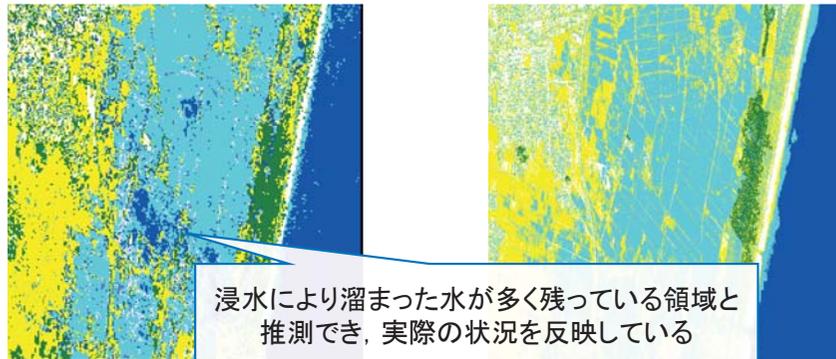


ミクセル分解結果および検討

(1) ミクセル分解結果

土地被覆分類結果の基準画像との比較

対象地域A



土地被覆分類結果

航空写真[†]・地図^{††}を用いて作成した基準画像

□ “建築物” ■ “海” □ “浸水土壤” ■ “植生” ■ “土壤”

[†] 国土地理院 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震正射画像: <http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyozort/>
^{††} ゼンリン電子地図帳Zi14

ミクセル分解結果および検討

(1) ミクセル分解結果

土地被覆分類結果の基準画像との一致率を算出

基準画像に対する分解画像の一致率(“浸水土壤”内の“海”を許容した場合)

土地被覆物	対象地域A		対象地域B	
	土地被覆物の割合[%]	一致率[%]	土地被覆物の割合[%]	一致率[%]
建築物	9.12	83.17	5.92	58.19
海	17.46	99.83	29.10	94.35
浸水土壤	42.34	94.04	41.28	92.30
植生	2.52	98.40	2.57	96.29
土壤	28.56	81.16	21.14	79.53
全体		90.44		88.02

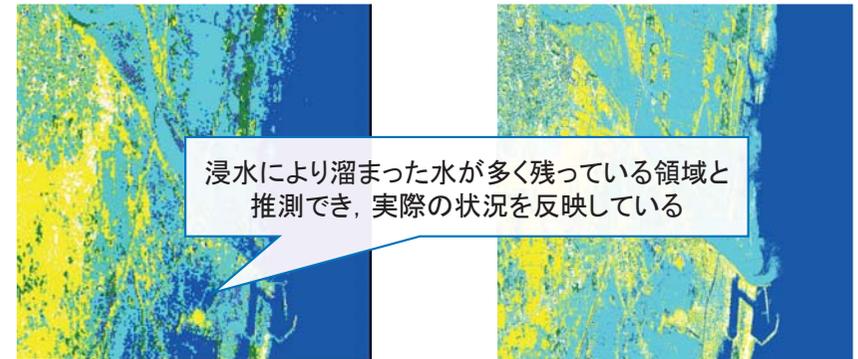
基準画像と高い割合で一致

ミクセル分解結果および検討

(1) ミクセル分解結果

土地被覆分類結果の基準画像との比較

対象地域B



土地被覆分類結果

航空写真[†]・地図^{††}を用いて作成した基準画像

□ “建築物” ■ “海” □ “浸水土壤” ■ “植生” ■ “土壤”

[†] 国土地理院 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震正射画像: <http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyozort/>
^{††} ゼンリン電子地図帳Zi14

ミクセル分解結果および検討

(1) ミクセル分解結果

土地被覆分類結果の基準画像との一致率を算出

基準画像に対する分解画像の一致率(“浸水土壤”内の“海”を許容した場合)

土地被覆物	対象地域A		対象地域B	
	土地被覆物の割合[%]	一致率[%]	土地被覆物の割合[%]	一致率[%]
建築物	9.12	83.17	5.92	58.19
海	17.46	99.83	29.10	94.35
浸水土壤	42.34	94.04	41.28	92.30
植生	2.52	98.40	2.57	96.29
土壤	28.56	81.16	21.14	79.53
全体		90.44		88.02

対象地域B: 建築物・土壤で一致率が低い

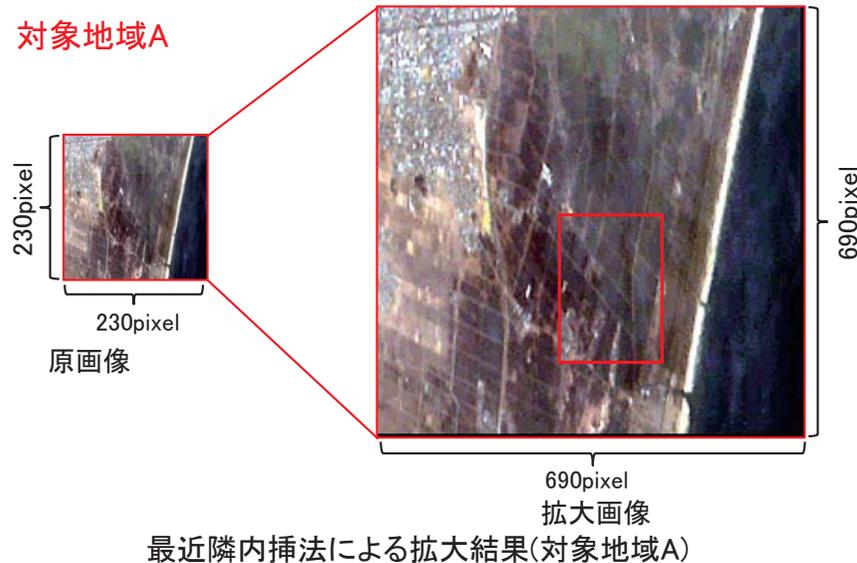
→ 様々な特徴を持つ人工構造物が密集している地域において、詳細な情報を抽出することが難しいため

ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

① 最近隣内挿法との比較

対象地域A

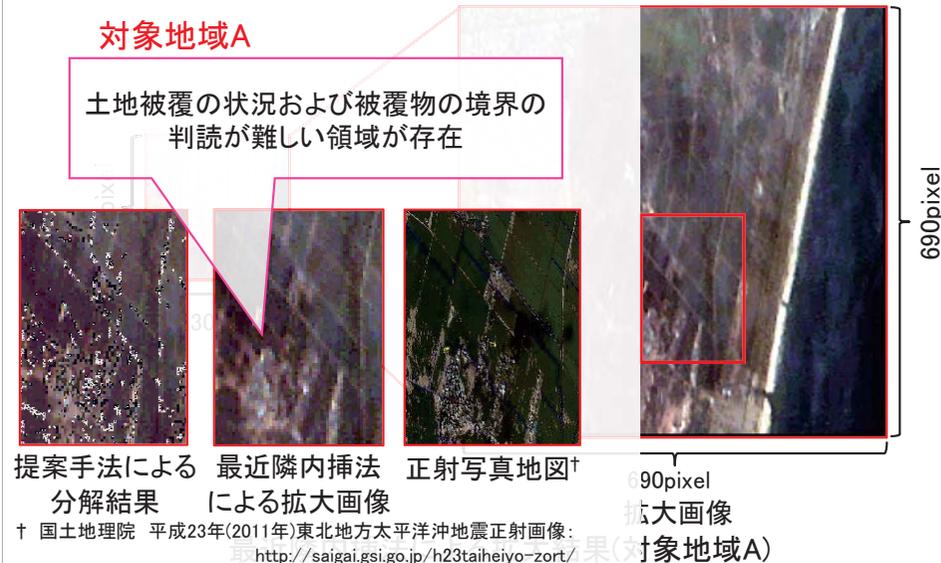


ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

① 最近隣内挿法との比較

対象地域A

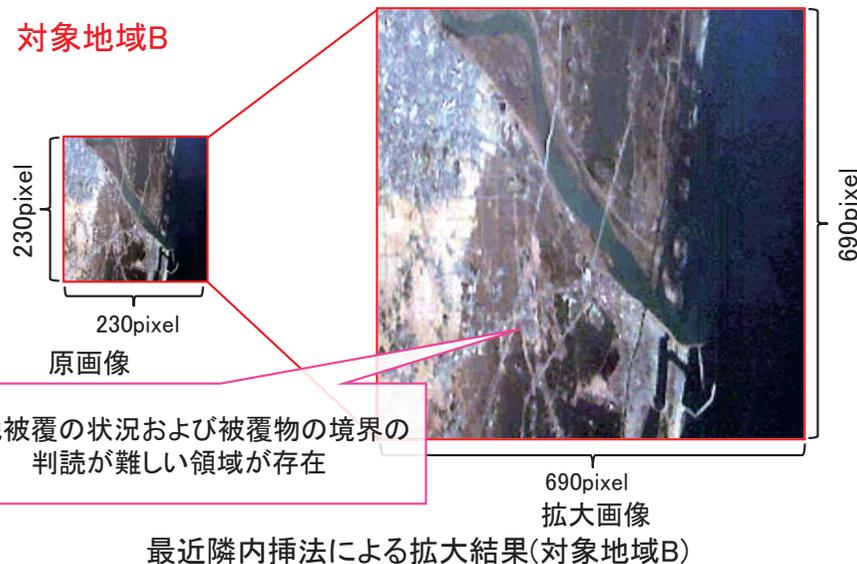


ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

① 最近隣内挿法との比較

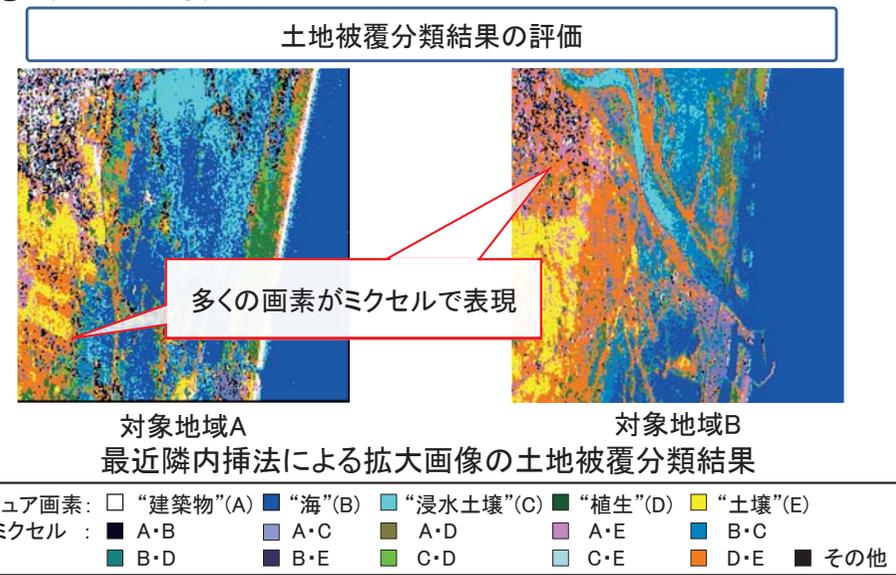
対象地域B



ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

① 最近隣内挿法との比較



ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

① 最近隣内挿法との比較

提案手法と最近隣内挿法の土地被覆分類結果の一致率を比較

基準画像に対する一致率(“浸水土壤”内の“海”を許容した場合)

土地被覆物	対象地域Aの一致率[%]		対象地域Bの一致率[%]	
	提案手法	最近隣内挿法	提案手法	最近隣内挿法
建築物	83.17	28.94	58.19	1.88
海	99.83	99.79	94.35	94.85
浸水土壤	94.04	70.68	92.30	27.70
植生	98.40	90.96	96.29	43.09
土壤	81.16	23.27	79.53	34.56
全体	90.44	58.67	88.02	47.56

提案手法は最近隣内挿法より30%以上高い一致率を得た

提案手法は最近隣内挿法と比較し有用

ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

② テクスチャ特徴量の併用に関する有用性に関する検討

DN値のみで分解処理を行った場合の一致率と比較

基準画像に対する一致率(“浸水土壤”内の“海”を許容した場合)

土地被覆物	対象地域Aの一致率[%]		対象地域Bの一致率[%]	
	提案手法	DN値のみを使用	提案手法	DN値のみを使用
建築物	83.17	83.17	58.19	56.41
海	99.83	99.99	94.35	95.38
浸水土壤	94.04	89.43	92.30	75.83
植生	98.40	99.99	96.29	87.10
土壤	81.16	83.17	79.53	92.86
全体	90.44	88.29	88.02	84.26

DN値のみを使用した場合で高い一致率

➡ 対象地域の浸水状況に応じて処理を選択するアルゴリズムの開発が必要

ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

② テクスチャ特徴量の併用に関する有用性に関する検討

DN値のみで分解処理を行った場合の一致率と比較

基準画像に対する一致率(“浸水土壤”内の“海”を許容した場合)

土地被覆物	対象地域Aの一致率[%]		対象地域Bの一致率[%]	
	提案手法	DN値のみを使用	提案手法	DN値のみを使用
建築物	83.17	83.17	58.19	56.41
海	99.83	99.99	94.35	95.38
浸水土壤	94.04	89.43	92.30	75.83
植生	98.40	99.99	96.29	87.10
土壤	81.16	83.17	79.53	92.86
全体	90.44	88.29	88.02	84.26

提案手法はDN値のみを使用した場合と比較し、“浸水土壤”で高い一致率を得た

提案手法は“浸水土壤”を良好に処理する手法として有用

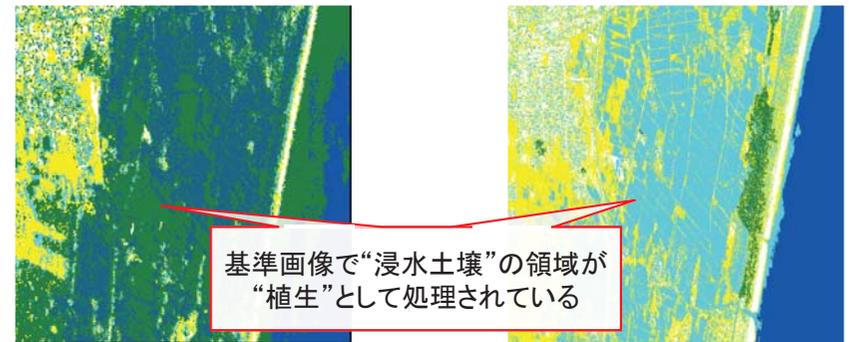
ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

③ 近赤外域のバンドデータを併用した処理の有用性に関する検討

可視域の合計3バンドデータで分解処理をした場合の土地被覆分類結果の評価

対象地域A



可視域のバンドデータで分解した場合の土地被覆分類結果 航空写真[†]・地図[†]を用いて作成した基準画像

□ “建築物” ■ “海” ■ “浸水土壤” ■ “植生” ■ “土壤”

† 国土地理院 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震正射画像: <http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiy-zort/>
†† ゼンリン電子地図帳Zi14

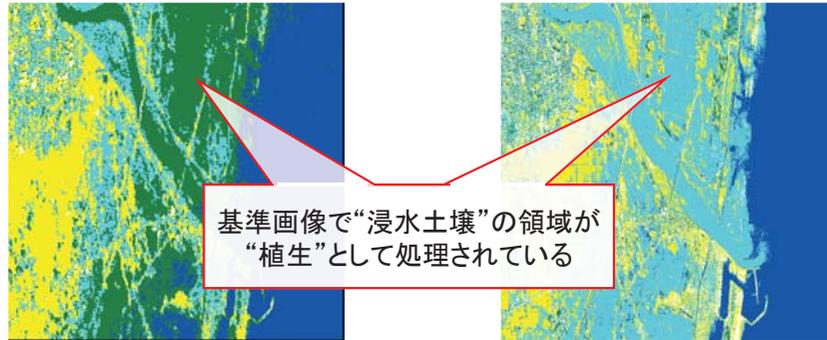
ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

③ 近赤外域のバンドデータを併用した処理の有用性に関する検討

可視域の合計3バンドデータで分解処理をした場合の土地被覆分類結果の評価

対象地域B



可視域データで分解した場合の分類結果 航空写真[†]・地図[†]を用いて作成した基準画像

□ “建築物” ■ “海” □ “浸水土壌” ■ “植生” □ “土壌”

[†] 国土地理院 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震正射画像: <http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyo-zort/>
^{††} ゼンリン電子地図帳Z14

ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

③ 近赤外域のバンドデータを併用した処理の有用性に関する検討

可視域の合計3バンドデータで分解処理をした場合の土地被覆分類結果の評価

教師データのDN値における平均値

	第1バンド	第2バンド	第3バンド	第4バンド
浸水土壌	25.90	30.28	40.48	22.70
植生	25.03	29.15	38.85	44.43

近似した値を示す

→ 可視域のバンドデータのみでは、
正確な処理が難しい

反射率の違いから異なる値を示す

→ 近赤外域のバンドデータを
併用することで、
正確な処理が可能

近赤外域のバンドデータを併用することは正確な処理に有用

ミクセル分解結果および検討

(2) 提案手法の有用性に関する検討

③ 近赤外域のバンドデータを併用した処理の有用性に関する検討

可視域の合計3バンドデータで分解処理をした場合の一致率と比較

基準画像に対する一致率(“浸水土壌”内の“海”を許容した場合)

土地被覆物	対象地域Aの一致率[%]		対象地域Bの一致率[%]	
	近赤外域の バンドデータを 併用	可視域の 3バンドデータ のみを使用	近赤外域の バンドデータを 併用	可視域の 3バンドデータ のみを使用
建築物	83.17	41.28	58.19	12.56
海	99.83	61.12	94.35	90.03
浸水土壌	94.04	57.87	92.30	65.02
植生	98.40	100.00	96.29	92.23
土壌	81.16	37.78	79.53	74.64
全体	90.44	52.11	88.02	71.85

ほぼすべての項目で近赤外域のバンドデータを併用した場合で高い一致率を得た

近赤外域のバンドデータを併用することは正確な処理に有用

本研究で得られた成果

震災廃棄物量の推定を目的としたリモートセンシング
データにおけるミクセル分解に関する検討

- ◆ DN値とテクスチャ特徴量を併用したミクセル分解法は、土地被覆情報を推定する上で有用であることを明らかにした
- ◆ 本研究で設定した対象地域の場合、提案手法によるミクセルの分解処理の一致率は、90%程度となっており、THEOSデータにおける分解能の疑似的な向上に有用であることを明らかにした
- ◆ 近赤外域のバンドデータを使用した分解処理は、各土地被覆物を精度良く処理するために有用であることを明らかにした
- ◆ 本研究で提案するミクセル分解処理は、災害が今後発生した場合、リモートセンシングデータの分解能を疑似的に向上させる手法として、活用可能であることを明らかにした

[ID:163] 大震災と減災対策

被災からの早期復旧へ向けた高速な災害廃棄物量推定

(東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域 (仙台環境開発株式会社寄附講座))

航空写真の画像解析による災害廃棄物量推定

山本 雅人

北海道大学大学院情報科学研究科

教授

概要：

東日本大震災に代表される津波を伴う大規模な家屋倒壊を含む災害時において、被災地の早期復旧のためには発生した災害廃棄物の処理を迅速に行う必要がある。しかしながら、被災地から災害直後に得られる情報は乏しく、被災地の被害状況把握は困難であり、災害廃棄物量の推定を短時間で行う手段は確立していないため、数少ない情報からすばやく被害状況を把握する手段の確立が望まれている。

平山らは、地理情報システムを用いて津波浸水域を同定し、津波浸水による住家被害テーブルを用いた災害廃棄物量の推定をおこなっているが、この方法では詳細な津波再現計算や浸水深に関する調査が必要となるため短時間での推定が困難である[1]。本発表では、被災地上空で撮影される航空写真の画像に着目し、建造物の倒壊により発生する災害廃棄物(被災がれき)の推定手法を紹介する。

本研究では、震災後の被災地の空撮画像、および、被災地の建造物の位置や大きさを

取得できる地図データを用い、倒壊判定を行う。被災地のある建造物の被害を判別するには、被災地空撮画像を解析し、何らかの特徴量をもって被害の有無を定量化する必要がある。そのため、地図データ内に示される建造物の屋根に注目した。

地図データ上に建造物が描かれている場合、地震後に該当建造物が倒壊していなければ、空撮画像内の同位置に建造物の屋根が映り込むのは自明である。そこで建造物ごとにトリミングした空撮画像について屋根を示す特徴量を定義し、各建造物で屋根を示す特徴量が確認できれば、当該建造物の倒壊について判別は可能となる。具体的には、以下に示す流れで、画像内のある建造物について、倒壊判定を行う。

1. 画像データ取得
2. 航空写真内の注目建造物のトリミング
3. 注目建造物付近の画像特徴量の抽出
4. 倒壊の有無の判定
5. 倒壊判定の建造物について、災害廃棄物量の推定

使用した空撮画像は、対応する地域の地

図データとのキャリブレーションが完了している画像を使用する。地図データは建造物の位置と大きさを参照できるため、地図データ上の建造物を一戸ずつ注目し、被災地空撮画像の同一座標位置、および、大きさを切り出す。本研究では、原則として1つのトリミング画像中で注目する建造物は一戸とし、注目建造物が倒壊と判定された場合、注目建造物の床面積を被害面積に加算する。

具体的には、カラー画像を濃淡画像に変換した後、微分フィルタを施してエッジを検出する。その後、極座標系を用いて直線検出を行う Duda and Hart の方法[2]を使用し、線分の検出を行う。検出された線分は地図データとの照合により建造物に関するエッジかを判定して建造物が倒壊しているかどうかを判別する。

提案手法の正当性を検証するため、岩手県釜石市のある範囲を撮影した航空写真、および、該当範囲の地図データを使用し[3][4]。縮尺 1/2500、ドット密度 24dpi の画像情報から建造物の倒壊判別を行い、面積を計算する。また、評価指標として、東日本大震災復興支援調査アーカイブ[4]で公開される、膨大な人手と時間をかけた調査による各建造物の倒壊情報と、提案手法での建造物の倒壊情報を比較した。実験結果を表 1、図 1 に示す。表 1 で示した色が図 1 の色に対応している。

倒壊面積から災害廃棄物量を推定すると、提案手法では約 20 万トン、実際の倒壊建造物では約 17 万トンとなる。また、提案手法では倒壊、および、非倒壊建造物を正しく判定できた割合は全面積

中 65% 程度である。実際に倒壊した建造物の中で、提案手法が倒壊と判定した面積の割合は、75% となった。また、提案手法が非倒壊と判断した建造物が、実際に非倒壊であった面積の割合は 73% となった。

表 1 倒壊／非倒壊の判別結果

提案手法	実際の倒壊情報		
	全壊	非全壊	計
全壊	0.29 (赤)	0.20 (橙)	0.49
非全壊	0.14 (緑)	0.37 (青)	0.51
計	0.43	0.57	1.00



図 1 地図上の判別結果

参考文献等

- [1] 平山修久, 河田恵昭, 奥村与志弘, 東日本大震災における災害廃棄物量の推定と災害対応, 廃棄物資源循環学会誌/論文誌, Vol.23, No.1, pp.3-9, 2012
- [2] 白井良明, 谷内田正彦, パターン情報処理, (株) オーム社, 1998
- [3] 国土交通省国土地理院, 被災地域の空中写真(電子国土 Web システム版) http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse2/index3_tohoku.html
- [4] 国土交通省都市局, 東日本大震災復興支援調査アーカイブ, <http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>

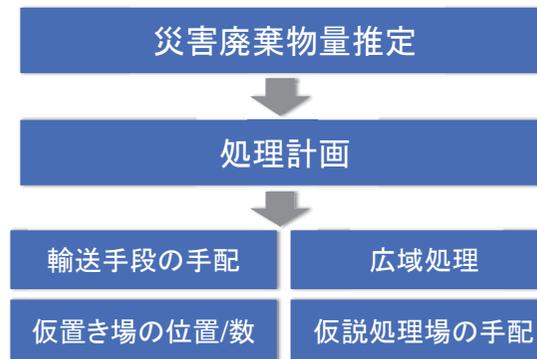
航空写真の画像解析による災害廃棄物量推定

山本雅人

北海道大学 大学院情報科学研究科 教授

背景

- 津波を伴う震災後の災害廃棄物処理
 - 被災地の復旧に必要不可欠



災害廃棄物量の推定



一般的な被害面積の推定方法

- ✓ 災害廃棄物処理計画[若林ら, 2013]
特定の地域が被災した際の被害を試算
実際の災害状況に合わせて再推計
- ✓ 発生直後[平山ら, 2011]
津波浸水地域を再現計算により同定

研究目的

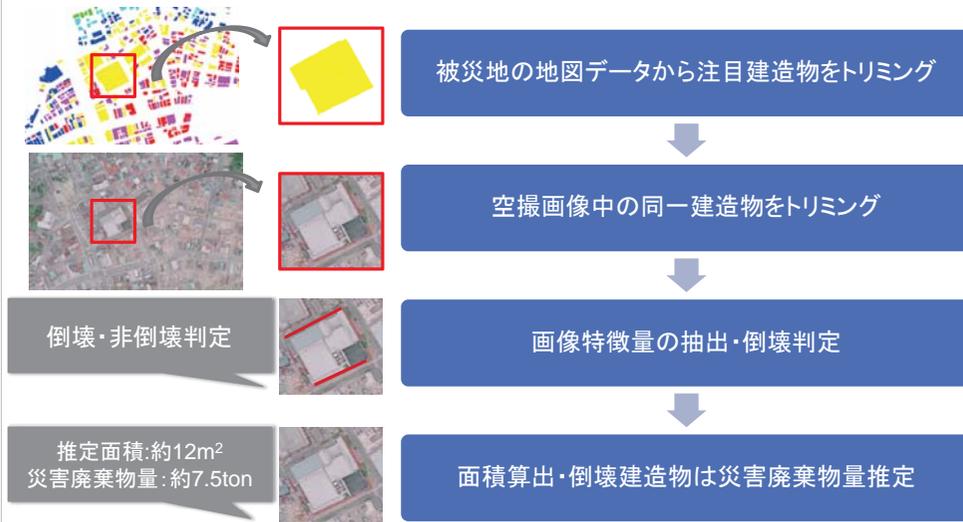
- 震災後の空撮画像を用いた建造物の自動倒壊判定



倒壊？非倒壊？

倒壊と判断された建造物の
災害廃棄物量推定を行う

提案手法の流れ



2015/3/15
国連防災世界会議

5

画像特徴量の抽出

▶ グレースケール化 [CIE1991]

$$Y = 0.299r + 0.587g + 0.114b$$

各画素値 $0 \leq Y \leq 255, 0 \leq r \leq 255, 0 \leq g \leq 255, 0 \leq b \leq 255$



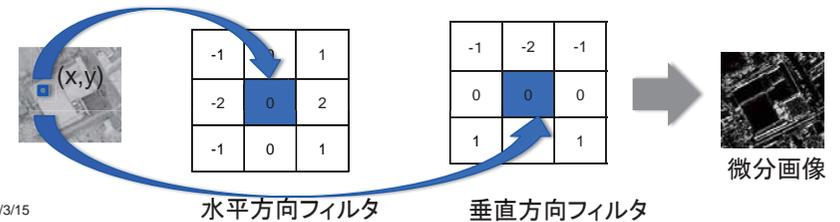
カラー画像



グレースケール画像

▶ 微分画像の生成・エッジ抽出

❖ Sobelフィルタ適用により画像を微分・エッジ抽出



2015/3/15
国連防災世界会議

6

直線検出による被害判定

▶ Hough変換による直線検出

❖ エッジ座標 (x_p, y_i) を極座標系の正弦波に変換

$$\rho = x \sin \theta + y \cos \theta$$

✓ 正弦波の交点を投票.

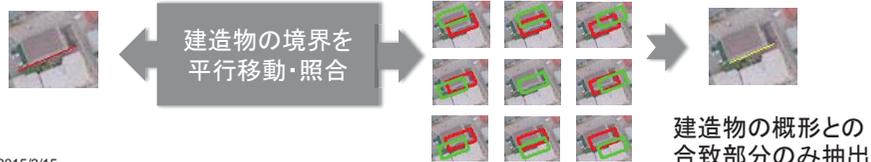
一定しきい値 t を越えた極座標 (ρ, θ) を元座標系の直線として画像認識

$$t = 0.0085S + 16.75$$

t : しきい値, 画像の縮尺: S



▶ 境界の平行移動による建物のエッジ探索



2015/3/15
国連防災世界会議

7

面積算出とがれき量の推定

▶ 建造物の倒壊領域の画素数から実面積に変換

$$N(p) = p \frac{c^2 S^2}{D^2}$$

$N[m^2]$: 面積 $D[dot]$: ピクセル密度
 $p[dot]$: 画素数 S : 縮尺
 c : 2.54×10^8

▶ 災害廃棄物量算出公式 [Hirayama et al, 2010]

$$W_D = \sum C_i N_i$$

W_D : 災害廃棄物量
 C_i : 災害発生原単位 (住家)
 N_i : 領域面積

▶ 災害発生原単位 C_i の設定 [高月ら, 1995]

• 阪神淡路大震災により発生した災害廃棄物量の調査結果

木造一般家屋倒壊の場合 $C_i = 0.62 \text{ ton} / m^2$

2015/3/15
国連防災世界会議

8

実験

実験目的

- 領域抽出精度の検証
 - 条件の異なる地点を撮影した航空写真を利用

実験条件

- 画像データセット
 - 震災後空撮画像
 - 建造物の存在情報(地図データ)
- 各画像データセットに提案手法を適用
 - 沿岸部:宮城県南三陸町
 - 山間部:岩手県陸前高田市
 - 都市部:岩手県釜石市

評価指標

東日本大震災復興支援調査アーカイブ

- 支援団体が震災後、長期間かけて現地調査
- 被害地域内の建造物の倒壊情報を参照可能

評価の際に実際の倒壊情報と照合



南三陸町志津川港の建造物被害のGISデータ

- 赤の部分 : 全壊(流失)
- ピンクの部分 : 全壊
- 青の部分 : 半壊
- 緑の部分 : 一部損壊

使用画像データ

- 津波による被害状況が異なる地点の画像を用意
- 地図データからは建造物の位置情報と大きさを参照可能

沿岸部:宮城県南三陸町



震災後(11/3/12-13)



建造物の存在情報

山間部:岩手県陸前高田市



震災後(11/4/1)



建造物の存在情報

都市部:岩手県釜石市



震災後(11/5-12/3)



建造物の存在情報

実験結果における各領域の凡例

		実際の倒壊情報	
		倒壊	非倒壊
提案手法	倒壊	A_r	A_o
	非倒壊	A_g	A_b



- 正答率:提案手法が被害の判別に成功した領域の割合

$$S = A_r + A_b$$

- 適合率

$$P = \frac{A_r}{A_r + A_o}$$

- 再現率

$$R = \frac{A_r}{A_r + A_g}$$

実験結果



沿岸部

山間部

都市部

沿岸部:宮城県南三陸町



この空撮画像内の倒壊建造物

建造物概形	空撮画像

提案手法	実際の倒壊情報		
	倒壊	非倒壊	計
倒壊	0.822(赤)	0.012(橙)	0.834
非倒壊	0.166(緑)	0.000(青)	0.166
計	0.988	0.012	1.000

正答率:0.823
適合率:0.986
再現率:0.832

2015/3/15
国連防災世界会議

13

実験結果



沿岸部

山間部

都市部

山間部:岩手県陸前高田市



この空撮画像内の倒壊建造物

建造物概形	空撮画像

提案手法	実際の倒壊情報		
	倒壊	非倒壊	計
倒壊	0.826(赤)	0.083(橙)	0.909
非倒壊	0.066(緑)	0.025(青)	0.091
計	0.892	0.108	1.000

正答率:0.850
適合率:0.908
再現率:0.926

2015/3/15
国連防災世界会議

14

実験結果



沿岸部

山間部

都市部

都市部:岩手県釜石市



この空撮画像内の倒壊建造物

建造物概形	空撮画像

提案手法	実際の倒壊情報		
	倒壊	非倒壊	計
倒壊	0.288(赤)	0.191(橙)	0.479
非倒壊	0.142(緑)	0.379(青)	0.521
計	0.430	0.570	1.00

正答率:0.667
適合率:0.602
再現率:0.670

2015/3/15
国連防災世界会議

15

判別失敗の具体例

▶ 提案手法の不正解例

実際の被害 : 非倒壊 提案手法 : 倒壊			実際の被害 : 倒壊 提案手法 : 非倒壊		
A)建造物概形	B)抽出線分	ABの合致部分	A)建造物概形	B)抽出線分	ABの合致部分

空撮画像から直線が検出されない

空撮画像内に屋根が残っている
道路の直線部分検出

2015/3/15
国連防災世界会議

16

推定倒壊面積と災害廃棄物量

提案手法での推定範囲の実面積と推定がれき量



	沿岸部	山間部	都市部
提案手法の抽出面積 [km ²]	0.929	1.083	0.282
推定がれき量 [ton]	約57.6万	約67.2万	約17.5万

考察

➤ 空撮画像内での災害廃棄物量比較

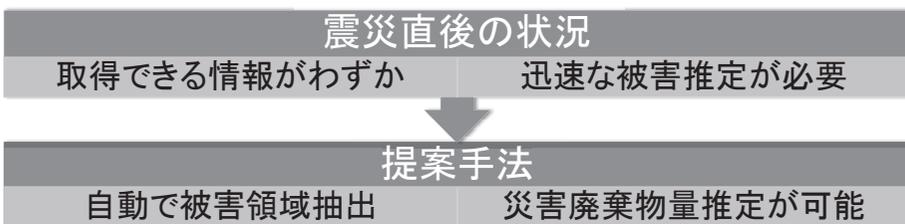
	沿岸部	山間部	都市部
A)実際の被害に基づく災害廃棄物[ton]	約68.2万	約65.9万	約15.7万
B)提案手法の災害廃棄物量[ton]	約57.6万	約67.2万	約17.5万
B/A	0.843	1.012	1.113

【参考】

震災直後の推定がれき量は実際の発生がれき量の約1.5~2倍
 東日本大震災後の推定がれき量[2012年2月]: 2154.2[x10³ton]
 2014年3月26日現在の推定がれき量(環境省): 1708.4[x10³ton]

結論

➤ 空撮画像から倒壊建造物を特定, 災害廃棄物量推定
 →空撮画像内の建造物から実際に発生する災害廃棄物量と差がなかった



今後の課題

➤ 建造物の倒壊判定精度の向上

- 空撮画像では判別不可能な例
 ✓ 屋根の存在する全壊建造物



それ以外の判別ミスは修正可能

- 実際には倒壊した建造物を非倒壊と判定する誤判定
 ✓ 道路の誤検出などは道路情報等を付加
- 実際には倒壊していない建造物を倒壊と判定する誤判定
 ✓ 直線以外の特徴量を検討(面や画像の乱雑さ)

➤ 広範囲に災害廃棄物量推定を行った際の検証

[ID:163] 大震災と減災対策

被災からの早期復旧へ向けた高速な災害廃棄物量推定

(東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域 (仙台環境開発株式会社寄附講座))

災害廃棄物輸送計画の展望と課題

岸 邦宏

北海道大学大学院工学研究院

准教授

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災以降、被災地では懸命な復興に取り組んでいる。災害廃棄物処理についてみると、災害発生後太平洋沿岸部を中心に、13道県239市町村において災害廃棄物約2千万トン、津波堆積物約1.1千万トンが発生し、福島県の一部を除き、2014年3月に処理が完了した。

災害発生後、迅速な復旧・復興を進めるためには、がれきを中心とした災害廃棄物の処理をいかにしてスムーズに行うことが重要であるかは言うまでもなく、交通の観点から見ると、災害廃棄物の輸送体制を確立する前に、がれきによって途絶した道路を中心に、交通ネットワークを速やかに復旧することが重要である。

そこで本稿では、災害発生時のがれきの処理による道路啓開作業に焦点を当て、東日本大震災時の「くしの歯作戦」やその後の防災計画の場で検討されている道路啓開の事例により、災害廃棄物輸送計画の展望と課題について述べることとする。

2. くしの歯作戦

道路啓開とは、1車線でも通れるように



出典：国土交通省東北地方整備局ホームページ

図1 くしの歯作戦の概要

早急に最低限のがれき処理を行い、簡易な段差修正により道路を開けることをいう。大規模災害では、応急復旧を実施する前に救援ルートを確認する道路啓開が必要である。東日本大震災の道路啓開は、「くしの歯作戦」と称して行われた^[1]。

内陸部を南北に貫く東北自動車道と国道4号の縦軸を確保し、そこから「くしの歯」のように沿岸部に伸びる横軸方向の何本もの国道を、救命・救援ルート確保に向けて切り開いたものである。2011年3月11日の発災後、3月18日には沿岸部の国



図2 陸前高田市の道路啓開作業

道45号も97%啓開が完了しており、その後の応急復旧の段階に移行することができた。

3. 北海道の災害時の道路啓開の検討事例

国土交通省北海道開発局では2013年度に「冬期における津波災害対応・復旧支援方策検討会」を設置し、筆者も委員として参加した。ここでは、冬期の津波により沿岸部が広域に被災した場合の復旧支援方策に焦点を当てた検討を行ったが、北海道の沿岸部が津波により被災した場合、建設機械等の台数から道路のがれき処理に要する時間をシミュレーションし、特に広域連携による建設機械の確保のあり方について検討している^[2]。

分析の一例として、図3はある地域が被災した場合、地元にある建設機材の使用可能率が50%と仮定した場合の、主要道路のがれき撤去のシミュレーションを行った結果である。他地域から建設機械を支援し、がれき撤去に4日と20時間かかっている。これが冬期になるとがれきに雪氷が加わり、撤去の時間が倍以上かかる結果となった(図4)。



図3 津波被災時の道路のがれき撤去日数(無雪期)



図4 津波被災時の道路のがれき撤去日数(雪氷期)

4. 災害廃棄物輸送計画の課題

現在、多くの自治体で災害廃棄物処理計画の策定が進められている。環境省では災害廃棄物対策指針^[3]を定めており、輸送計画に関連して、収集運搬車両の確保とルート計画にあたっての留意事項もまとめている。地元の建設業協会や産業廃棄物協会等と協力体制を構築し、収集運搬車両リストを作成、災害廃棄物量の推計から必要台数の計画、交通渋滞に配慮したルート計画の必要性がまとめられている。

しかし、実際には北海道開発局での検討事例のように、必要な車両数の確保は困難なことが予想される。道路啓開作業から始まり、それに続く災害廃棄物処理は様々な制約条件下で最も早く処理できるための計画策定の検討が必要であり、そのための支援手法の研究が重要となってくる。

参考文献等

- [1]国土交通省東北地方整備局，“震災伝承館”，URL: <http://infra-archive311.jp/>
- [2]国土交通省北海道開発局，“冬期における津波災害対応・復旧支援方策検討報告書”(2014)
- [3]環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部，“災害廃棄物対策指針”(2014)

災害廃棄物輸送計画の 展望と課題

2015年3月15日

北海道大学大学院工学研究院
准教授
岸 邦宏

はじめに(2)

2

- 災害発生時のがれき処理による道路啓開作業に焦点
 - 東日本大震災時の「くしの歯作戦」
 - 防災計画の場で検討されている道路啓開の事例
 - 環境省の災害廃棄物対策指針
- ↓
- 災害廃棄物輸送計画の展望と課題

はじめに

1

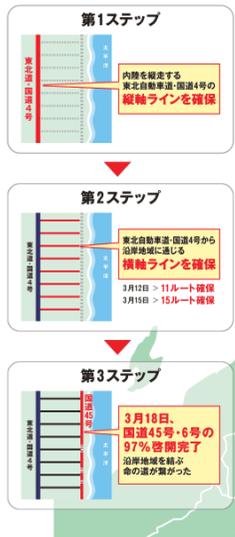
- 2011年3月の東日本大震災以降、被災地では懸命な復興に取り組んでいる
- 災害廃棄物処理(13道県239市町村)
 - 2014年3月に完了
 - 災害廃棄物約2千万トン
 - 津波堆積物約1.1千万トン
- 迅速な復旧・復興＝災害廃棄物の処理をいかにしてスムーズに行うか
- 輸送計画
 - 災害廃棄物の輸送体制を確立
 - 交通ネットワークの速やかな復旧が重要

東日本大震災の「くしの歯作戦」

3

- 道路啓開
 - 1車線でも通れるように 早急に最低限のがれき処理を行い、簡易な段差修正により道路を開けること
- 大規模災害では、応急復旧を実施する前に救援ルートを確保する道路啓開が必要
- 東日本大震災の道路啓開は、「くしの歯作戦」と称して行われた
 - 内陸部を南北に貫く東北自動車道と国道4号の縦軸を確保
 - そこから「くしの歯」のように沿岸部に伸びる横軸方向の何本もの国道を、救命・救援ルート確保に啓開

「くしの歯作戦」の概要



国土交通省北海道開発局の検討事例

- 「冬期における津波災害対応・復旧支援方策検討会」を設置(2013年度、岸も委員として参加)
- 冬期の津波により沿岸部が広域に被災した場合の復旧支援方策に焦点を当てた検討
- 北海道の沿岸部が津波により被災した場合、建設機械等の台数から道路のがれき処理に要する時間をシミュレーション
- 特に広域連携による建設機械の確保のあり方について検討

道路啓開シミュレーション入力データ

留萌地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	98台	10台
フェーズ②	481台	10台
札幌地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	165台	70台
フェーズ②	5,301台	70台
小樽地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	44台	20台
フェーズ②	1,383台	20台
函館地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	335台	60台
フェーズ②	2,000台	60台
稚内地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	105台	20台
フェーズ②	807台	20台
旭川地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	333台	50台
フェーズ②	2,486台	50台
網走地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	71台	40台
フェーズ②	1,416台	40台
釧路地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	242台	60台
フェーズ②	1,873台	60台
帯広地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	295台	100台
フェーズ②	1,873台	100台
空知地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	182台	30台
フェーズ②	1,734台	30台
室蘭地区	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	280台	140台
フェーズ②	2,063台	140台
全道	バックホウ	トレーラー
フェーズ①	2,150台	600台
フェーズ②	21,417台	600台

道路啓開シミュレーション事例

仮定)太平洋沿岸部 無雪期 総がれき量=110,000m³

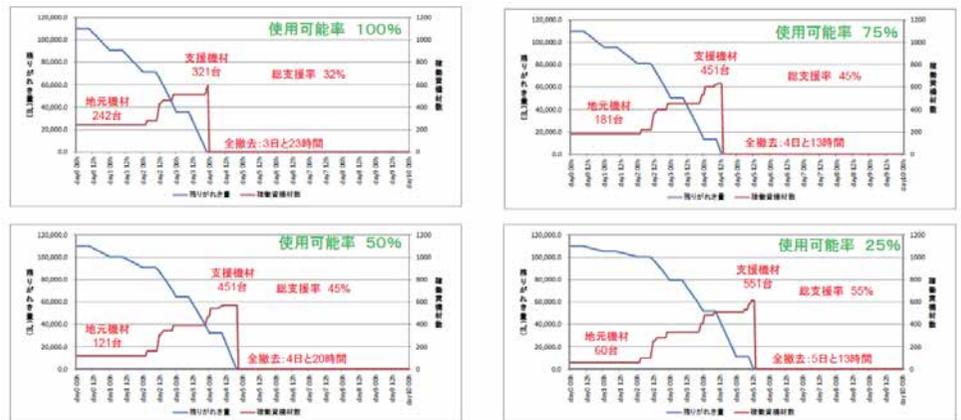


図 がれき撤去量と支援機材台数の推移

道路啓開シミュレーション事例(2)

8

仮定)太平洋沿岸部 積雪期 総がれき量=176,000m³

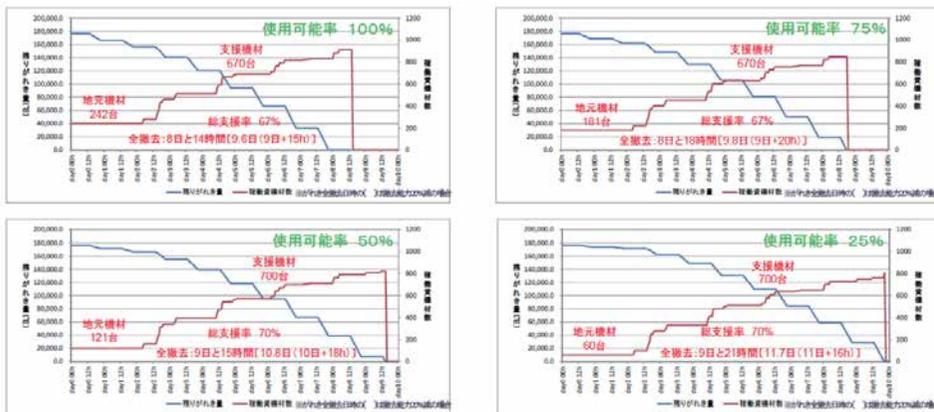


図 がれき撤去量と支援機材台数の推移

環境省の災害廃棄物対策指針

9

- 多くの自治体で災害廃棄物処理計画の策定
- 環境省で2014年にガイドラインを策定・公表
- 輸送計画関連
 - 地元の建設業協会や産業廃棄物協会等と協力体制を構築
 - 事前に収集運搬車両リストを作成
 - 災害廃棄物量の推計から必要台数の計画
 - 10トンダンプトラックが用いられることが多い
 - 仮置き場周辺等、交通渋滞に配慮したルート計画の必要性

災害廃棄物輸送計画の課題

10

- 実際には必要な車両数の確保は困難
 - 北海道開発局での検討事例
 - 一斉に災害協定が発動、被災地での取り合い
- 調整を各自治体に任せるのか？ 国土交通省が仕切るのか？
↓
- 道路啓開作業、災害廃棄物処理
 - 様々な制約条件下で最も早く処理できるための計画策定の検討が必要
 - そのための支援手法の研究が重要

[ID:163] 大震災と減災対策

被災からの早期復旧へ向けた高速な災害廃棄物量推定

(東北大学大学院環境科学研究科・資源循環複合新領域 (仙台環境開発株式会社寄附講座))

統合型水循環シミュレーションによる水資源管理システムの構築

山村 寛

(中央大学理工学部・人間総合理工学科・助教)

概要:

水は高い所から低い所に向かって流れることを疑う人は少ないと思うが、実は条件によっては低い所から高い所に向かって水がのぼることもある。水がどこに流れるのか、そしてどのくらいのスピードで流れるのかについては、「流体力学」によって決まるが、これまでに様々な研究者が水の流れを予測するために、数学と物理学などを駆使して、様々な自然法則を見いだしてきた。流体力学で一番重要かつ基礎的な法則が「連続式」である。『水の流れは、入ってきた分だけ外に出る』という当たり前なルールに則って、水の流れを表す関係式を作成する。他にも、水のエネルギーを示す式や運動量などを示す式により水の流れを表現して初めて水の流れを仮想上に再現することが可能となる。

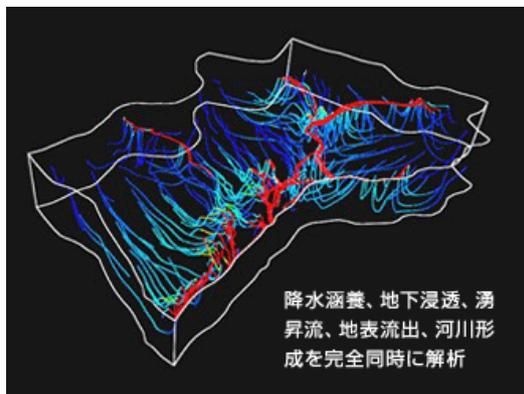
20世紀後半からコンピュータ技術の急速な発展に伴い、仮想上に現実の流体を創造することが可能となっている。これらの流体の動きは、前述したように現世界で発生する様々な物理・化学的な作用を、方程式を通して再現したものであり、その精度も規模も、計算技術の向上に伴って年々向上している。

このようにコンピュータで現世界を表現出来るようになったことにより、従来では見えなかった世界を、コンピュータを通して見る事が可能となる。その一例が地下水の流れである。地下水の流れは、粒子の大きさや水と粒子との相互作用、水の温度や岩盤などの性質によってその流れが大きく変わることから、簡単に予測するのは非常に難しい。さらに、地表水から地下水へ水が常時供給されており、地下水と地表水を一体としたモデルを作成する必要があるため、モデルが複雑すぎて正確に地下水の流れをシミュレーションすることが難しいのだ。



従来では地下水の流れを見るためには、地上から地下にいくつかの孔を掘り、地下水の流れを実測しながらモニタリングするしか方法がなかったが、近年、地圏環境テクノロジーが、陸域における水循環システ

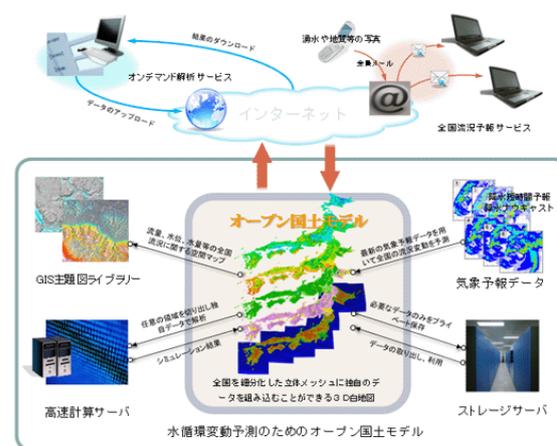
ムを「多相多成分流体系として定式化」し、従来困難であった地上および地下の水の流れを完全に一体化させたモデルの構築に成功している。



このモデルを使うことで、これまで複雑すぎてシミュレーション出来なかった地下水流れを可視化することが出来るようになった。シミュレーションソフトは“GETFLOWS”として市販されており、現在日本のすべての地下空間を可視化すべく、「オープン国土水循環モデル」の構築及び情報提供サービスの開始に向けて準備している。「オープン国土モデル」は、全国を細分化した立体メッシュに利用者独自のデータを組み込むことができる3次元数値モデルであり、地圏環境テクノロジーは、このオープン国土モデルを用いた数値シミュレーション、データ配信等の様々な情報サービスをインターネット上で公開するための研究を進めている。

さて、このモデルを使うことで何ができるのか考えるのが、続いての我々の役割となる。まずは、現在日本にはどのくらいの水資源があるのか、ご存じだろうか？地表に出ている水については、ある程度の資源量はGPS等を使って推測することは出来る。しかし、地下になるとその存在量はこれまで

で不明であり、地表よりも地下に水資源が豊富に含まれるとされる研究例もある。このシミュレーションを使うことで、日本持つ水資源の全量を把握することが出来るのである。この量が分かることで、水を貴重な資源として捕らえ、その質と量を保護するための有効な施策が打てるようになるのである。



加えて、地下水脈が明かになることで、地盤の様子もある程度推測することが可能となる。地盤は長い年月をかけてゆっくりと形成するものであり、ある箇所を掘削した際にその地盤が崩壊するのか？それとも固まるのかについては、現在推測することは極めて難しい。シミュレーションを使うことで、雨を仮想的に降らすことが出来るため、将来的な地盤の状態を予測することが可能となるのだ。

地球温暖化や巨大地震などを含め、今後は何が起こるか分からない災害に対して、その被害を予測する手法が必要となっている。そのために非常に有効な方法として、シミュレーション技術があり、この技術の急速な発展と効用について本論文では解説した。

統合型水循環シミュレーション による水資源管理システムの 構築

中央大学理工学部 人間総合理工学科
山村 寛

講演内容

- ① 水はどのように流れる？
- ② 統合型水循環シミュレーションとは？
- ③ 見えない水の流れを見てみる
- ④ 統合型水循環シミュレーションを使えば、何が出来る？
- ⑤ 災害復興・防災へのシミュレーション技術の応用

水の流れを見る

Confidential

2



水の流れをコンピュータでシミュレーションするのは結構難しい

水はどのように流れる？ 水5訓を例に

Confidential

3

1. 自ら活動して他を動かしむるは水なり
水はエネルギーを持っている
2. 障害にあい激しくその勢力を百倍し得るは水なり
水のエネルギーは合算することが出来る
3. 常に己の進路を求めて止まざるは水なり
水の流れは連続している
4. 自ら潔うして他の汚れを洗い清濁併せ容るるは水なり
水はものを溶かす能力がある
5. 洋々として大洋を充たし発しては蒸気となり雲となり雨となり雪と変じ霰(あられ)と化し凝(ぎょう)しては玲瓏(れいろう)たる鏡となりたえるも其(その)性を失はざるは水なり
水は形を変えるが、源は天水である

黒田官兵衛

水の“流れ”を表す基本式

Confidential

4

1:連続の式 水は、原因もなく、突然現れたり消えたりすることはない

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

2:エネルギー保存則 水はエネルギーを持つ+それは合算できる

$$(B =) \frac{v^2}{2} + \int \frac{dp}{\rho} + \Omega = \text{constant}$$

3:運動量保存則 水は方向を持った運動量を持つ

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{F}$$

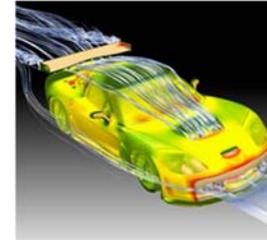
その他の関係式

- 土への浸透を表現する式
- 水路と水との摩擦に関する式
- 水底の石による水の跳ねに関する式
- 水による水底を削る速度の式
- 水によって石が運ばれて、砂州を形成する式
-
-
-

数えれば、たくさん水に関する関係式は存在する

手で計算して、水の流れを表現するのは不可能に近い！！

CFD(コンピュータシミュレーション)

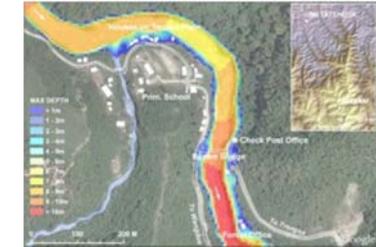
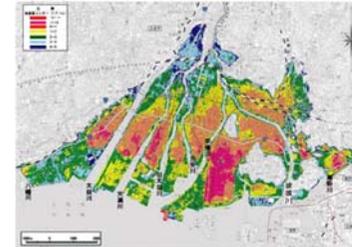


数値流体力学 (CFD)

宇宙船やスペースシャトルで、風の抵抗などを評価するために、最初用いられていた技術が産業界に普及

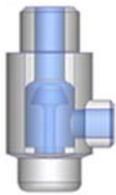
現在では、車や船のデザイン、防災や津波の分野にまで普及している

たくさんの式をコンピュータに解かせて、流れをコンピュータ上に可視化する

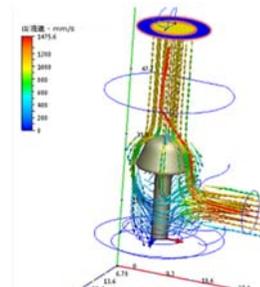
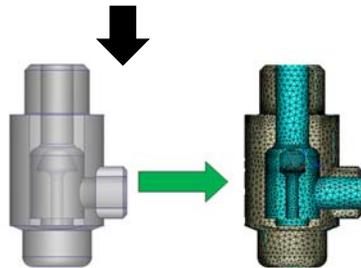


CFDの計算過程

- ① コンピュータ上に、3次元の図面を書く



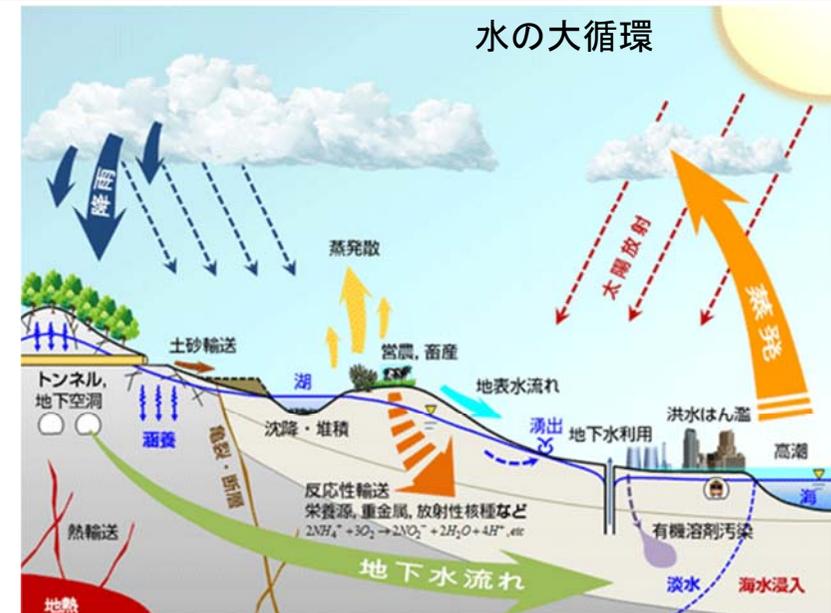
- ③ 差分表により、メッシュ毎に関係式を解く



- ② 有限要素法により、メッシュを作成する

CFDで地球の水の流れを再現できるか？

水の大循環

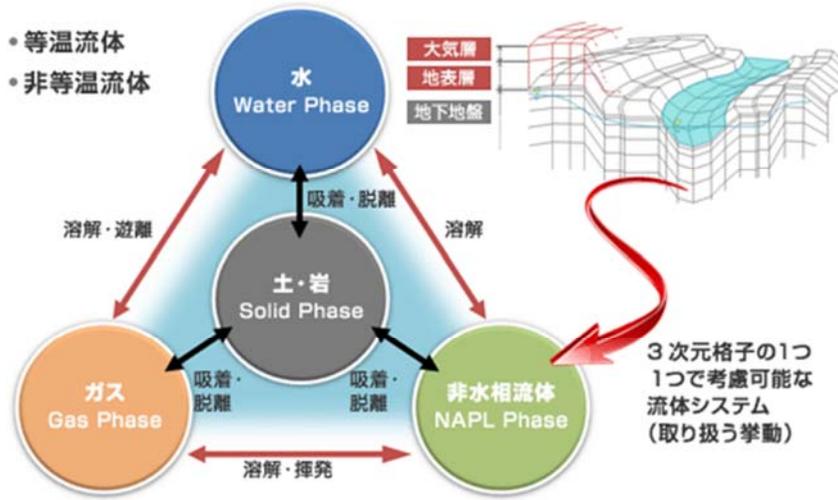


地圏空間における一般流体システムの表現

Confidential

9

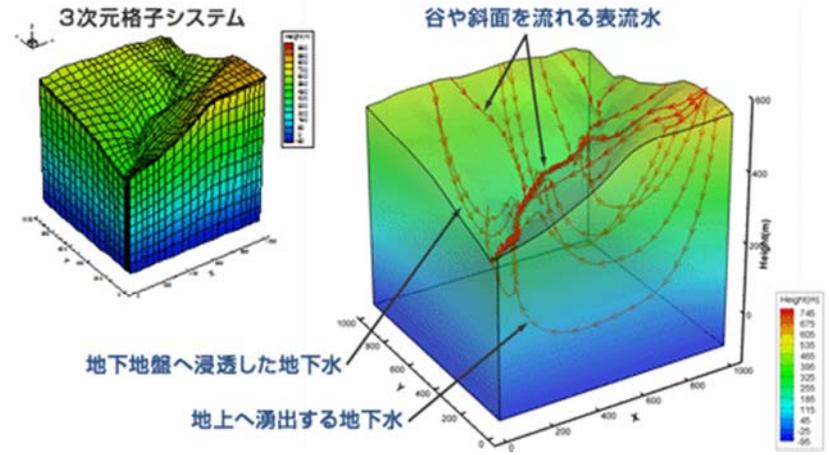
GETFLOWS(株式会社 地圏環境テクノロジー)を使った、地圏空間の流体解析



水の流れを地表と地下で切れ目無く解析

Confidential

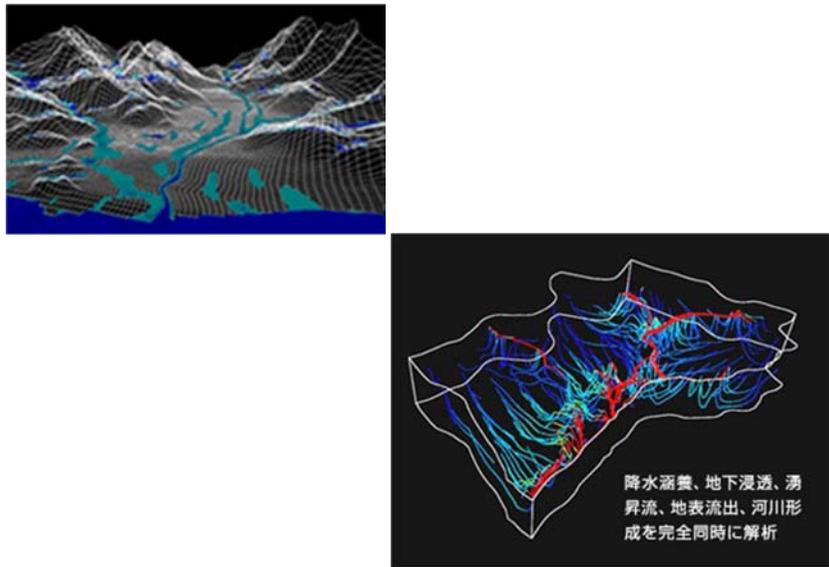
10



解析結果の表示

Confidential

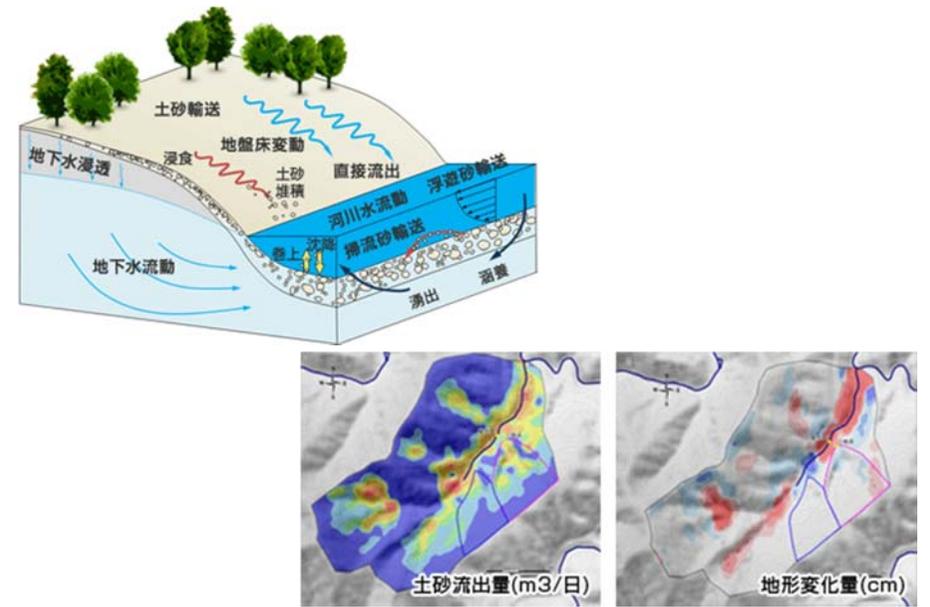
11



砂州の形成

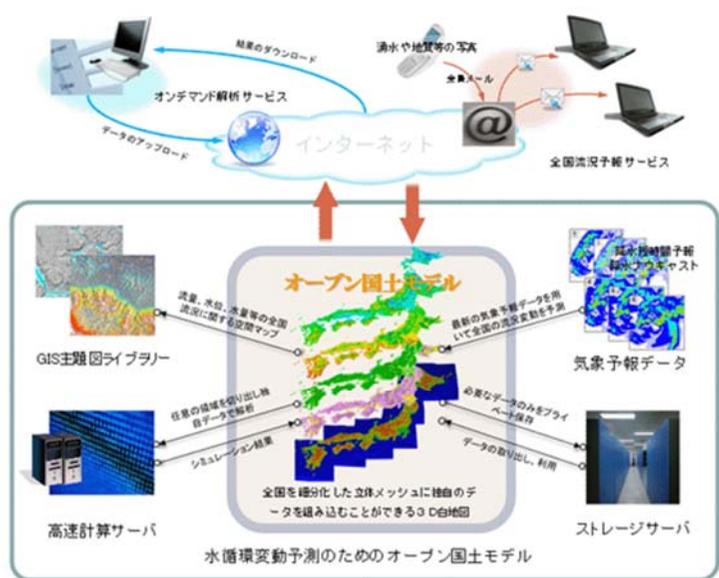
Confidential

12



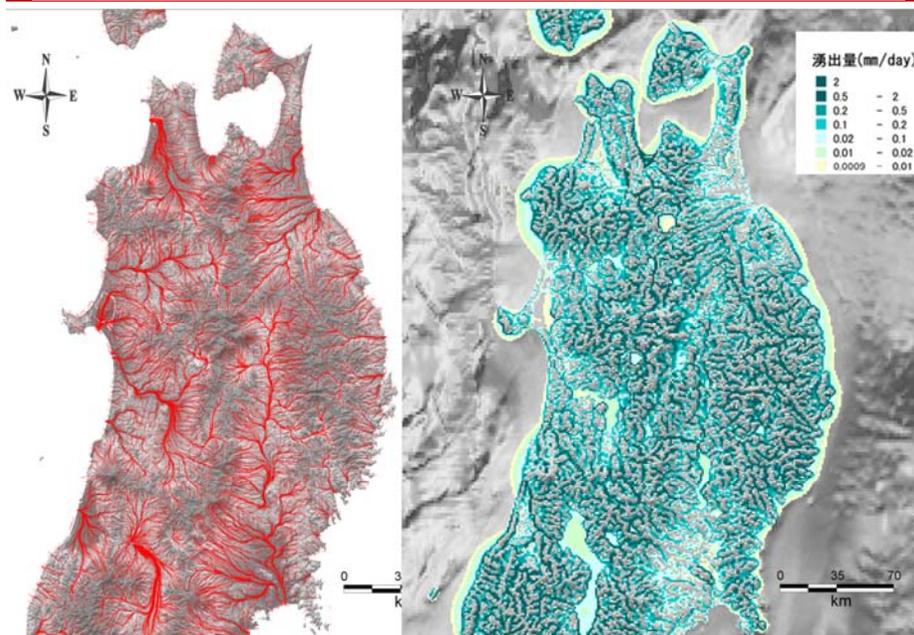
コンピュータ上に3次的に日本を作る

Confidential 13



東北地方の水の流れ

Confidential 14



シミュレーションは何に役に立つのか？

Confidential 15

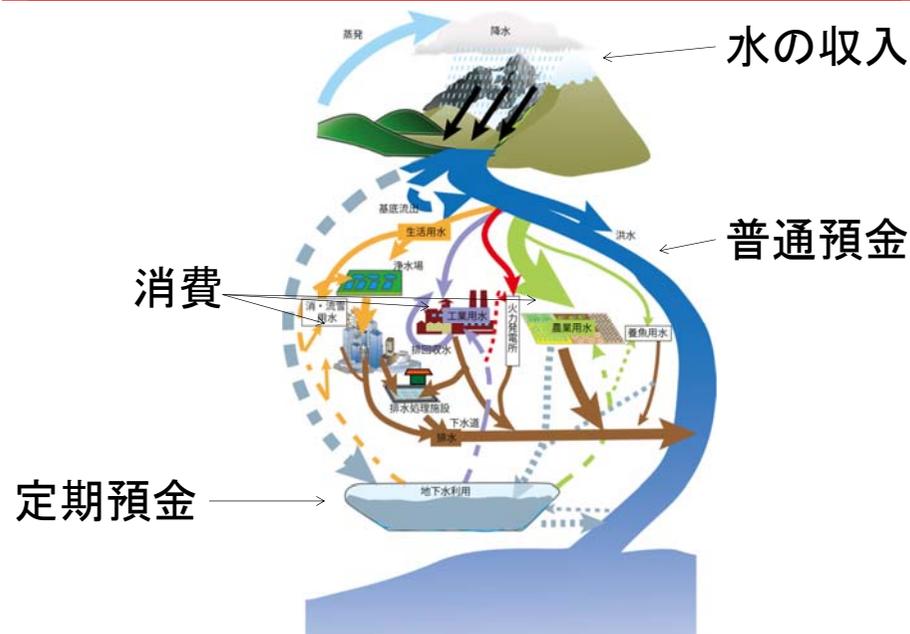
① 水の全量を把握する

$$\text{収入} = \text{支出}$$

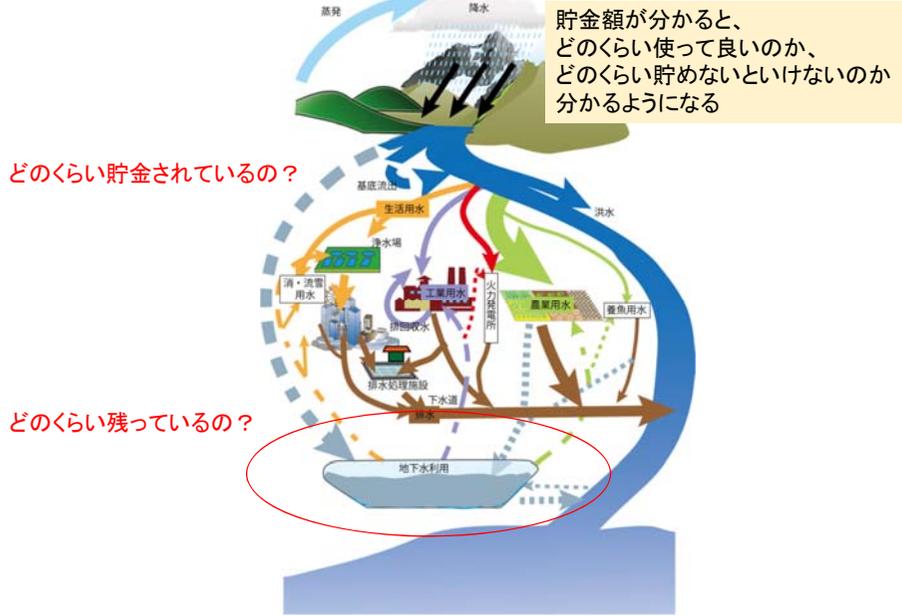


水の収入とは？

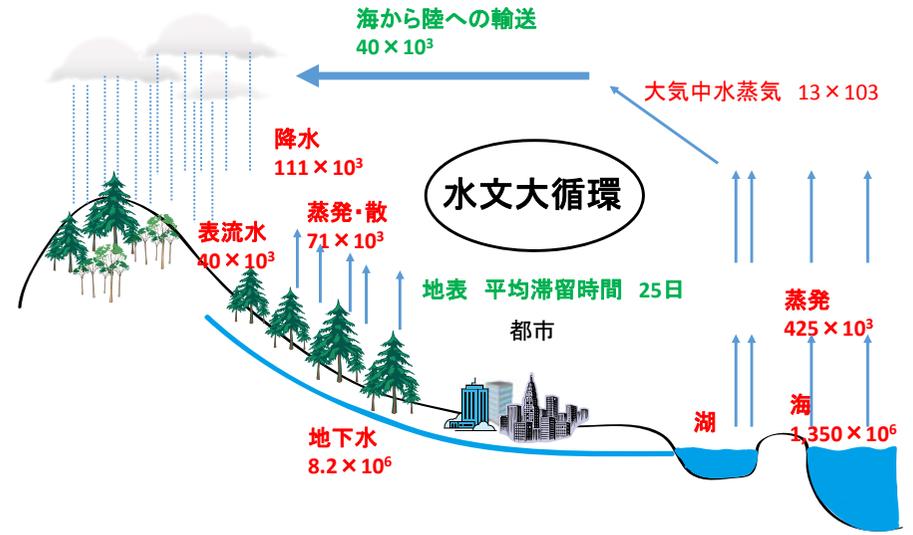
Confidential 16



貯金額が分からない



水循環フラックス



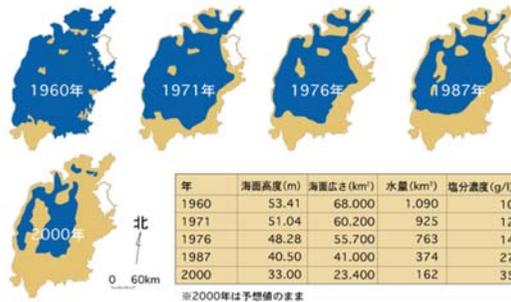
水資源の特徴

ストック型資源（年オーダーの循環）

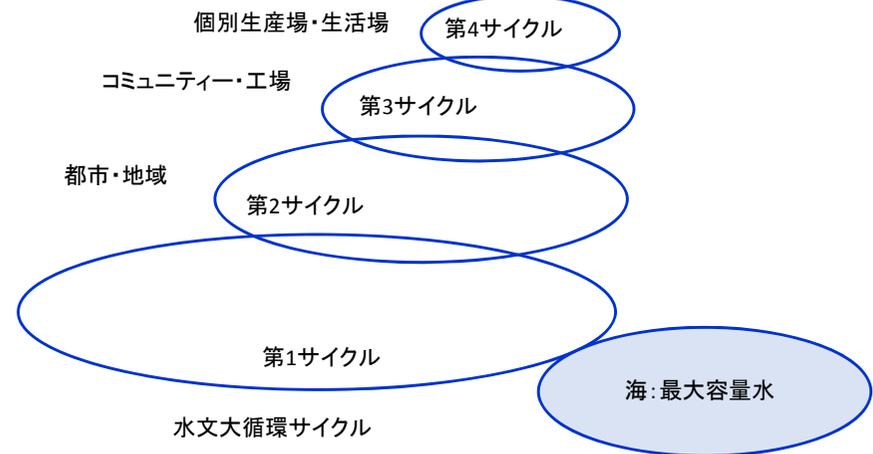
フロー型資源（日々の循環）

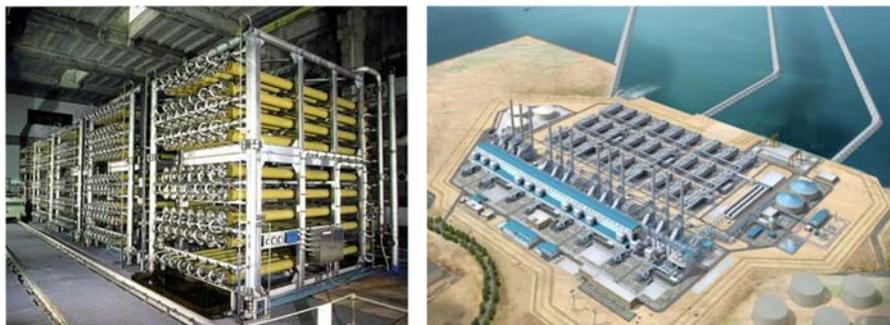


世界第4位のアラル海
2010年頃までに面積が1/3に



水循環のスペクトル(階層)





水循環の高速化、高エネルギー化

地球上の水循環には、
サイクル時間(周期)、サイクル空間(スケール)の異なる様々な質(ギャップ)と量
を持つ循環があります。

水の利用・排除(代謝)を考える場合の基礎となる第1の水サイクルは、
水文大循環

我々が使っている都市/地域の水使いのシステムの主体は、
第1サイクルの上に乗っている第2サイクルの水循環

これまでの社会は、第3、第2サイクルの水循環が極めて不安定だった

第4サイクル(生産現場)からの有機水銀の第1サイクルへの漏れが水俣病に
つながった。

基本的に、設計/運用する対象水システムが、水循環のどのサイクルにあるか、
常に明示して問題を処理する必要がある。

これまでは、第1サイクルに直接飲み口を取り、
吐き口を出すという形で大きく寄りかかってきました。

このようなルーズな構成は、比較的きれいな水が第1循環に豊富に存在する場合でのみ
しか、通用しない。

有機・無機の微量汚染が近代水システムを
脅かし続けています。どうする？

現在

全ての用途に一括して飲用可能水を提供し、
雑多な汚物を浄水に混ぜて、人口廃棄物「下水」
を造り出して、一括下流側に排除するシステム

第4サイクルで生産されたものが第2サイクルで
処理されている。

理想

第4サイクルで生産された微量汚染物質は、
第4サイクル内で処理することが適切！



都市用水、環境水の質的な要求が厳しくなると、第2サイクルにおける全水量(都市通過の全水量)の高度処理を全微量成分に目配りして不断に行うことが求められる。

再高度の水質改善を最大水量について常時遂行しなければならないという「一括輸送型近代水代謝システム」が担わなければならない宿命的な難しさ

尿尿の処理・処分は、本来第4サイクルの話ですが、現代の下水道では、第2サイクルに直結し、短絡して第1サイクルとリンクする。

こうした諸サイクルの責任分担と交差問題を将来の水システムでどう考えるか。どのサイクルにどの成分の収支を取り扱わせるかをもう少し精密に議論すべき



宅地整地した場所での災害を予想するのは難しい。

整地する時には、事故が起こらないように、工学的にしっかりと実施するが、地下水の流れ等によって地盤が緩み、崩れてしまうことがある。

地下水の流れをコンピュータでシミュレーションできれば、崩壊する可能性のある箇所が可視化出来るようになる。

Acknowledgement

We gratefully acknowledge the financial support of

Sendaikankyokaihatu Co.Ltd.

謝辞

本講座に多大の御支援を賜る

仙台環境開発株式会社 に深甚なる感謝の意を表する