

循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

- ・研究課題名=海岸流木のリサイクルに向けたシステム提案(漂着ごみ問題解決に関する研究)
- ・研究番号 =K 1 9 2 2, K 2 0 5 3, K 2 1 7 2
- ・国庫補助金精算所要額 (円) =30,951,000 (複数年度の総計)
- ・研究期間 (西暦) =2007-2009
- ・代表研究者名=斎藤 直人 (北海道立林産試験場)
- ・共同研究者名=石川 佳生、古俣 寛隆、清野 新一、加藤 幸浩 (北海道立林産試験場)
佐藤 創、阿部 友幸、南野 一博、鳥田 宏行、真坂 一彦、菅野 正人、
長坂 有、福地 稔、長坂 晶子、山田 健四 (北海道立林業試験場)

・研究目的

海岸流木をリサイクル処理・活用するには、その発生量の把握が不可欠である。また、海岸流木は塩分を含むことから、通常の木材と異なる性状であり、活用には注意を要する。ここでは、適正な海岸流木のリサイクルフローを形成するため、①流木の発生源、発生量を明らかにし、②流木の漂着実態ならびに③性状を把握するとともに、処理技術を精査する。また、④リサイクル技術について、収集・粉砕・改質・輸送にかかる規模、能力、コストや市場性等を把握した上で、資源の有効利用、地域貢献、環境との共生などの視点から、地域に適したリサイクル技術を選定する。その技術の選定手法等の一部は、マニュアルとして共通化するとともに、⑤リサイクルのあり方も併せて検証し、各地域における流木の活用を図る際の支援ツールとする。これらにより、海岸流木のリサイクルフローの形成を図り、各地域における流木処理を推進し、漂着ごみの問題解決に向けた先駆けとなる。

・研究方法

海岸流木の処理にかかる事例を調査して問題点ならびに課題を整理し、リサイクルフロー形成の実現に向けた基盤のあり方を検討するとともに、リサイクル推進に寄与するシステムならびにマニュアル等の作成を、以下の方法で検討した。

① 流木の発生源、発生量の推定

森林、地形的特徴を精査し、河畔林の破壊履歴を把握することにより流木の発生量を推定した。すなわち、モデル河川 (十勝川、石崎川、厚別川等) における降雨前後の河畔林での流木の捕捉量、流木の発生量を解析した。モデル河川の流木の漂流状況を観察し、森林環境、地形から、どのようなメカニズムで流木化し、どのようにして海岸へ到達するかを解明した。

② 流木の性状、処理技術の把握

流木の発生時期、規模、漂着形態等を調査し、海岸における流木漂着挙動を解析した。また、従来の処理方法、地域の処理技術を調査した。

③ リサイクル技術の精査

塩分・土砂を含み、病虫害が懸念される流木は、形状・種類が多様で発生も不定期・不安定であるなど、通常の木材とは異なるものである。そのため、従来リサイクル技術の適応が不可欠と思われる。そこで、人工海水を用いて木材に対する海水の浸透挙動を把握した。また漂着した流木の種類、塩分濃度、病虫害・雑草・土砂の混入量などを調べ、木材としての性状把握、リサイクル技術の整理、検証を行い、同時に実用的で簡易な脱塩技術を開発した。

④ リサイクルフローの形成

コストや環境への影響を考慮した、地域に応じたリサイクルフローを提案するため、流木の収集・粉碎・改質・輸送にかかる規模、能力等を考慮し、コスト、環境負荷、市場性、継続性、効果の視点から利用技術を選定し、モデル河川におけるリサイクルフローを検討した。

⑤ マニュアル化ならびに体制の基盤づくり

流木処理に対する地域の取組みや支援制度のあり方を分析し、その問題点を整理しつつ、適正な流木リサイクルフローを選定するための階層分析法（AHP）を用いた評価モデル等を提示した。さらに、その結果とあわせて、流木が漂着した場合にどのような処理をどのように行うことが望ましいのかを明確にする評価・選定手法をまとめ、海岸流木のリサイクルシステムの基盤づくりを図った。

・結果と考察

① 流木の発生源、発生量の推定

流木の発生メカニズムの解明ならびに発生量を把握するため、ダムにおける流木の引き揚げ量を、河川の流木量として流域面積等との関係を調べた。複数年の結果を統一的に説明するために、最寄りのアメダス観測地点の24時間最大雨量が流域全体に降ったと仮定し、その雨量と流域面積の積により流域に降った雨の体積を算出し、雨の体積と流木発生量との関係を示した。バラツキは大きいものの、24時間雨量の体積が大きくなるにつれて年間の流木発生量が多くなることが示された。また、 $0.2\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ を超えた流入量を洪水超過流入量としたところ、1年ごとの流木引き揚げ量と洪水超過流入量とに一定の関係が見られた（図1）。

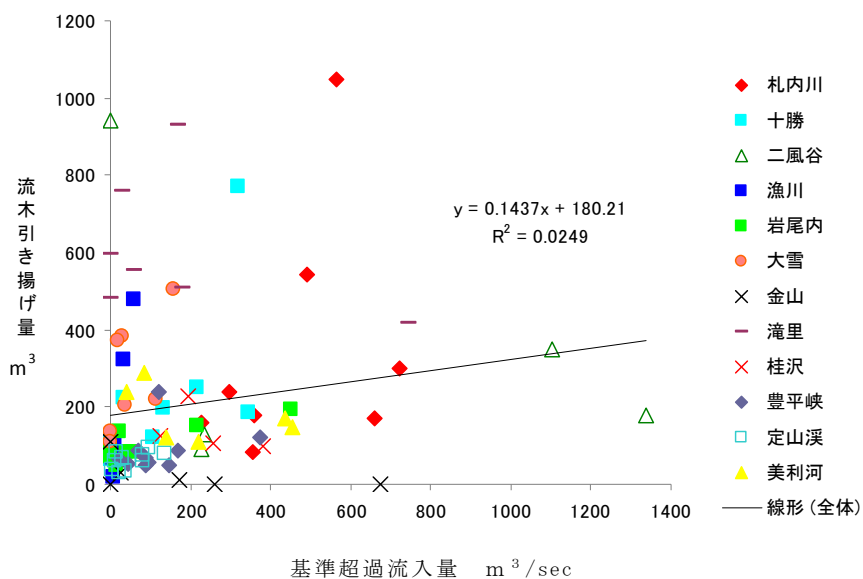


図1 全てのダムについての基準超過流入量と流木引き揚げ量の関係

東広尾川と石崎川において流木の移動解析を行った。すなわち、流木が移動したか否かを目的変数とし、流木の長さ、直径、腐朽度、根の有無、水面からの距離、水際からの距離を説明変数としたロジスティック回帰分析を行なった（表1）。その結果、上流と中流を通じて、半分腐朽しているものが流されやすく、水面からの比高が低いものが流されやすいことがわかった。また中流では直径が細いものほど流されやすいことが示された。

表1 ロジスティック回帰分析による移動確率に影響を及ぼす要因

要因	上流	中流
流木の長さ	NS	NS
流木の直径	NS	-0.252*
腐朽度	ほとんど腐朽	NS
	半分腐朽	2.069*
	わずかに腐朽	NS
	腐朽なし	NS
根の有無	NS	NS
水面からの比高	-2.24**	-10.63**
水際からの距離	NS	NS
地形（カーブ、中州など）	NS	NS
定数	NS	NS

数字の記入してある要因が統計的に有意（*：P<0.05、**P<0.01）

流木の川の合流点への到達率が降雨イベントの強さとどのような関係にあるかを、河口での水位と合流点への到達率の関係により調べた（図2）。通常の水位では流木はほとんど到達しないと考えられるので、通常水位 1.5m での流木到達率を 0.01 として図に加えた。水位と合流点への到達割合の関係は指数関数で近似することが出来た。この合流点に注目した場合、河口での水位と河道内での流木堆積量から流木の到達量を予測することが可能で、これにより全体の流木到達量の予測が可能と思われた。

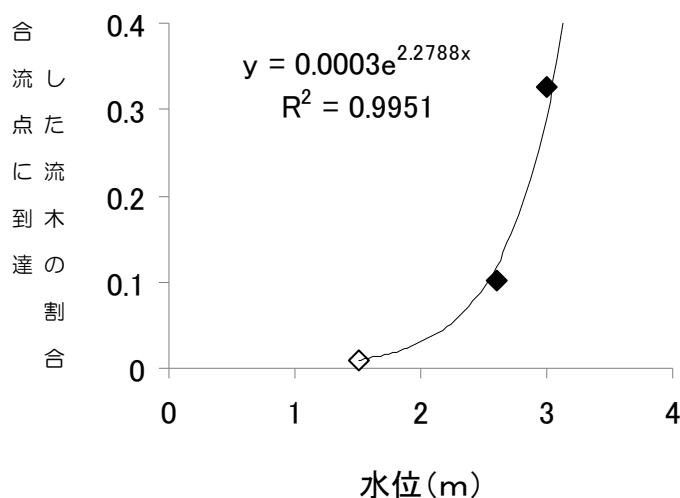


図2 石崎川河口の水位に対する石崎川と左股川の合流点へ到達した流木の割合

② 流木の性状、処理の実態把握

長万部川河口における流木の漂着挙動を調査するとともに、経常的に漂着する道内の海岸における流木の漂着時期、規模、形態を調査した。

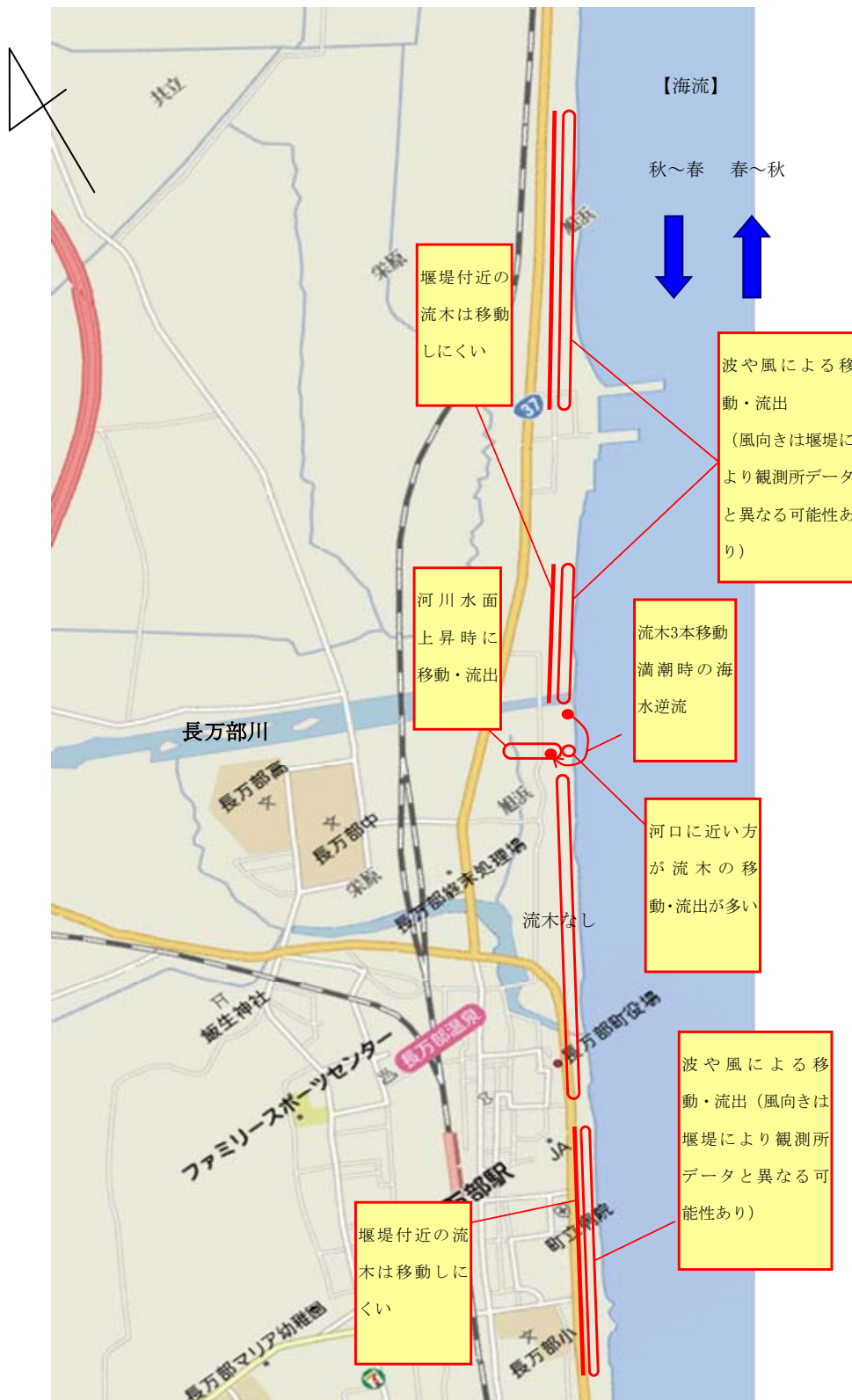


図3 長万部町海岸の流木漂着マップ

長万部町海岸の流木の移動は、期間よりも気象等の影響が強く、河口付近では河口に近い所ほど移動本数が多かった。また、海岸沿いの流木が川上へ移動している流木が確認でき、満潮時に海水が川上に逆流したものと思われた。なお、長万部川河口の流木は、降雨等による水面上昇時の流れによって移動している可能性が高く、流木の特性、海流の方向に明確な関係は見られなかった。そして、これらの移動等をマップとしてまとめた（図3）。

北海道における流木処理状況・被害状況等について調査した結果、流木の処理費は平成15～19年度の5年間で見ると、太平洋に面している胆振支庁、日高支庁、十勝支庁で多くなっていた（図4）。なお、胆振支庁、日高支庁は、平成15年度の台風10号の影響によるものが多く、それ以外の年度についてはそれほど多くはなかった。被害の内容としては、定置網の被害が多く報告されていた。

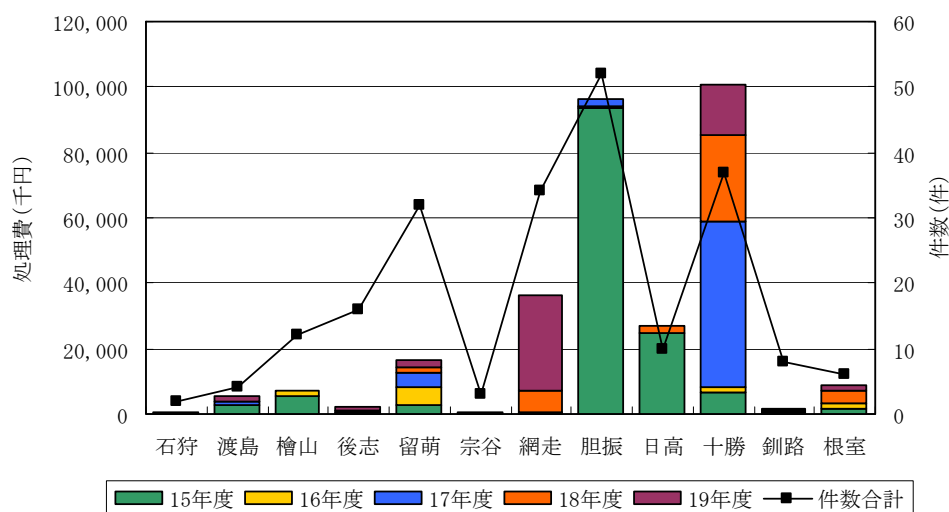


図4 平成15～19年度における流木処理の状況

北海道の海岸地域の流木処理の実態調査の結果からは、流木処理は「ブルドーザによる集積→バックホウ等による土砂等の選別・積みなおし→運搬→処理・リサイクル」が一般的で、その処理料金（受入料金）は2,500～3,000円/空m³であった。処理作業は、地元市町村が一部担当することはあるが、処理費用は国・道からの補助金に期待するところが多かった。なお、流木には塩分が含まれていることを懸念して、管理者等が焼却処理を避ける傾向にあった。そして、流木のリサイクルシステムが確立されると、処理費用が低減する可能性が高いことがわかった。

③ リサイクル技術の精査

塩分を含有する材料の緑化資材、敷料・堆肥、暗渠疎水材、海藻礁、燃料などへの活用技術を整理して、各用途における要求品質をまとめたところ、品質とコストに大きな懸念があるものの、塩分の低減技術の開発は用途展開に不可欠であることが明らかであった（表2）。そして、人工海水を調製し、浸せき後の塩分の定量等により木材に対する浸透挙動を把握するとともに、塩分の溶出の可能性を検討した。

表2 海岸流木の活用の可能性

用途	利用可能な塩分量			
品 質	コスト	他の要因	(脱塩目標、燃料は塩素分)	
緑化資材	土砂混入も可	安いもの	均一な粉砕物	1 (0.76) %以下
マルチング	土砂混入も可	安いもの	—	—
敷料	雑菌は不可	—	堆肥としての品質	—
堆肥	—	(安いもの)	—	1 %以下
海藻礁	—	—	粒度	—
暗渠疎水材	樹皮混入注意	安いもの	—	—
燃料	—	安いもの	—	0.4%以下
(ペレット燃料)	腐朽材は不可	—	安定供給	0.05%以下

— : 問わない

海岸流木から塩分を溶出させるためには、降雨に曝すことが有効であった。チップ状に粉砕した形態であれば、積み重ねて屋外に放置しても、蓄積 200mm の降水によって 0.2%程度まで低下できた(図5)。また、小径木であっても 20mm 程度の降水が 4 または 5 回あることで低減できた(図6)。すなわち、50mm 程度の降雨または、20mm 程度の雨量が 5 回以上、流木に対して液比 5L/kg 程度の降雨に曝すことで、速やかに塩分を溶出できることがわかった。

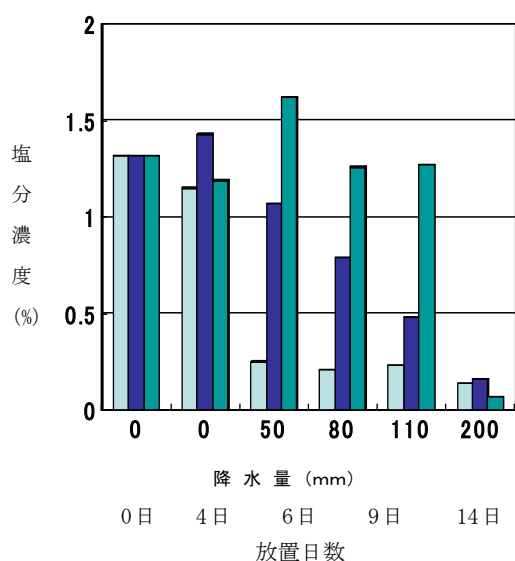


図5 降雨による流木チップの塩分溶出試験

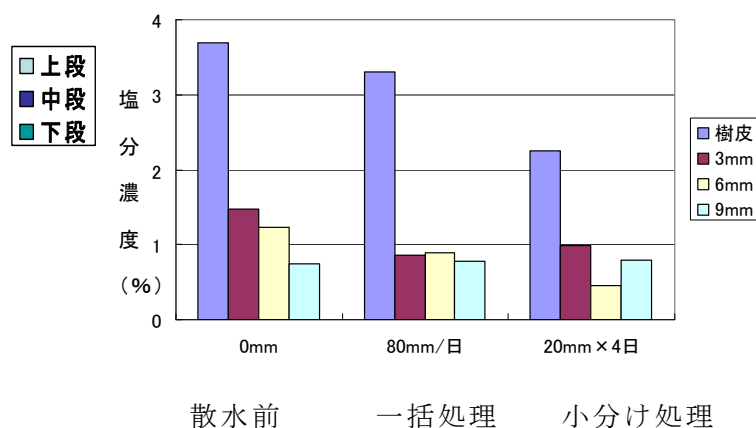


図6 降雨による小径流木の塩分溶出試験

これまで海岸流木を燃料にすることは、ダイオキシンの発生、炉壁を痛めることから敬遠されてきた。しかし、実態に合った粉砕、降雨による簡易な塩分の溶出技術、集積技術により海岸流木は、いわゆる森林バイオマスの一つとして、燃料利用も可能であることが分かった。

④ リサイクルフローの形成

関係行政機関から入手した流木処理に係る工事設計書および重機等賃貸借報告書を基に、工程別の作業コストを算出し、事例間での比較検討を試みた。その結果、流木の破碎（廃棄処分）までの処理コストは 8,969～12,961 円/m³ までと幅があった。根拠にしている歩掛り表や設定する工程および運搬距離などが様々であることから、見積もり金額が必ずしも一致しなかったが、流木処理 1m³あたりの合計コスト 12,000～13,000 円と規模による差は見られなかった。そして、処理コストの各工程の割合は、いずれのケースにおいても破碎工程が大きく、次には重機の移動や現場の整地、あるいは流木残さの埋め戻しなどの副次的な作業費用に充てられているものであった。流木処理にかかるコストは破碎工程が高いことから、この工程を含めず、現場における集積工程までにとどめておくことができれば、処理コストの大幅な低減が可能になると考えられた。しかし、海岸に集積したままの流木には景観の悪化も懸念されることから、バイオマスの有効活用、地域住民や企業への貢献度等から総合的に判断する必要があると思われた。

また、処理に伴う環境負荷に関して、CO₂ を対象に排出量を推計し、流木をボイラー燃料として利用する際の排出量削減の効果を考察した。流木実材積 1m³（集積・積込からチップ化まで）の処理に伴う CO₂ 排出量は 57.6kg と試算された（表 3）。木材の燃焼に伴う CO₂ 排出はカーボンニュートラルとして考慮しないことから、流木チップの燃料としての利用における CO₂ 排出量削減効果は流木 1m³あたり

表 3 流木処理実材積 1m³あたりの CO₂ 排出量

工程	種別・規格	数量	単位	燃料消費量 (L)	CO ₂ 排出量 (kg)	備考
集積・積込	バックホウ・～0.6m ³	62	h	802.9	2,208.0	
	バックホウ・～0.45m ³	11	h	115.5	317.6	
	トラクタショベル・～1.4m ³	52	h	618.8	1,701.7	
	小計			1,537.2	4,227.3	
運搬	ダンプトラック・～11t	55	h	676.5	1,860.4	
現場片付・整地	ブルドーザ・21t	30	h	798.0	2,194.5	
重機移動	トレーラー・30t	270	km	180.0	495.0	
	トレーラー・20t	140	km	100.0	192.5	
	トレーラー・14t	200	km	74.1	203.7	
	小計			354.1	891.2	
破碎	自走式木材破碎機・650HP	16	h	1,600.0	4,400.0	
破碎補助 (投入・篩)	バックホウ・～0.7m ³	32	h	582.4	1,601.6	
合計					15,175.0	790 空 m ³ あたり
流木実材積 1m ³ あたり					57.6	3 空 m ³ =1 実 m ³

382.9kg となった。また、チップ化の現場から燃焼場所までの輸送距離が遠くなるにつれ、CO₂排出量削減効果は減少した。そして、流木1m³の1kmの輸送に伴うCO₂排出量は22.7kgと試算された。すなわち、通常想定される程度であれば、現地破碎の流木チップを利用するボイラ工場への輸送を考慮しても、代替するA重油に対するCO₂排出量削減効果は高いことが示された。

また、流木リサイクルフロー形成のためのサポートマニュアルとして、流木の発生から処理までのリサイクルフローを5つの工程（発生、集積、積込、運搬、処理）に分割し、各工程の作業内容の選定方法や検討事項についてまとめた（図7）。

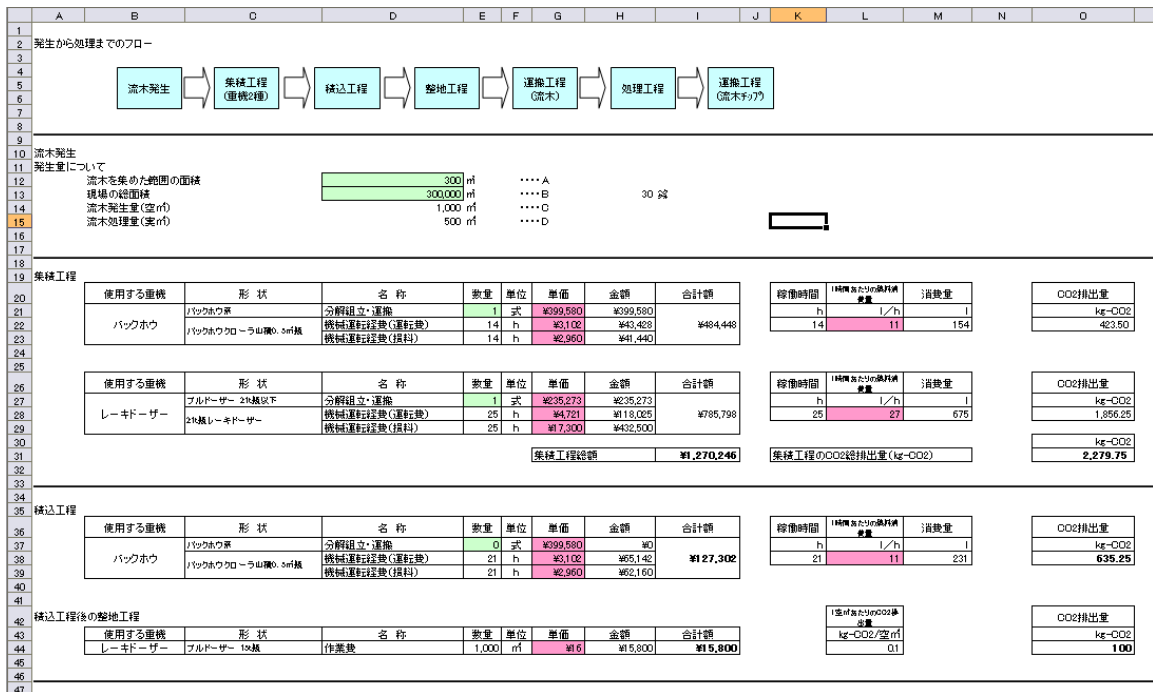


図7 概算シートの集積・運搬等にかかるワークシート

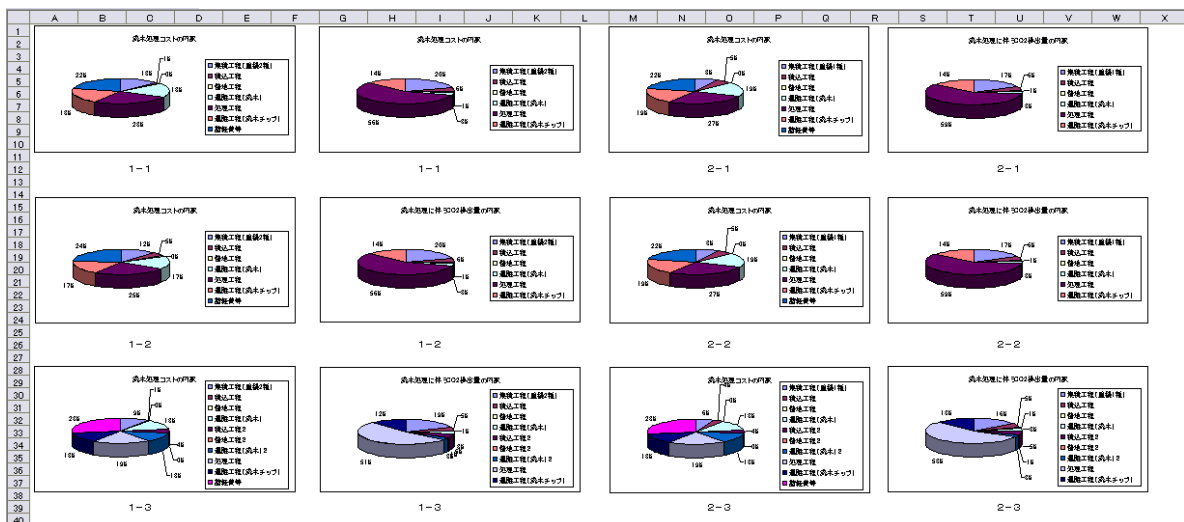


図8 概算シートのワークシート“グラフ比較”

なお概算シートは、Microsoft Office Excel 2003 で作成しており、流木の発生量を入力すると流木処理の各工程と作業全工程における費用の概算額と CO₂ 排出量が算出される。また、使用者の状況に合わせて任意の数値が入力可能な項目も用意したことで、実態に即した試算値を求めることが可能となっている。さらに各条件の結果について、グラフによる一覧とした（図 8）。これらの結果も考慮することで、後述の AHP 法による選択をより具体的に検討することを可能とした。

⑤ 海岸流木処理の基盤づくり

流木処理に係る関係者への聞き取りの結果、流木の処理に係る関係者は多岐にわたること、漂着状況に地域差があり、様々な処理実態や問題点が認められた。また、海岸管理者及び市町村は、海岸法、廃掃法などにより漂着流木の処理対応について責任を負うことになるが、責任範囲が明確でないため処理を行う現場で混乱が生じていることが分かった。

評価値

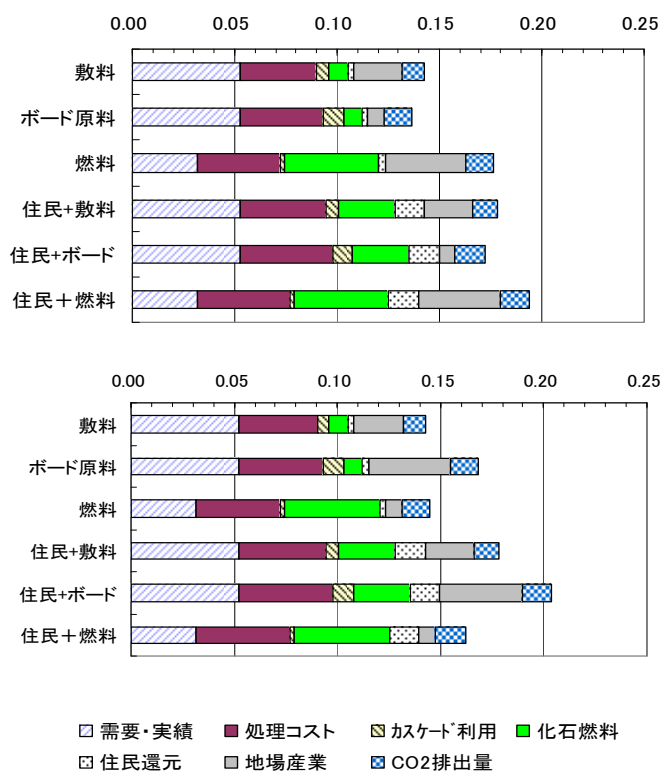


図 9 流木処理関係者による評価の統合化結果（上段：区域①，下段：区域④、国費 10/10 補助）

そこで、流木処理に対する支援制度の整理、流木処理の実態調査を行うとともに、流木が漂着した場合にどのような処理を行うのが望ましいのかを、コストや環境への影響など多角的な面からの評価手法を検討した。すなわち、流木処理の事例調査を行い、地域の取組みや支援制度のあり方を併せて複合的に分析し、流木のリサイクルに向けた問題点を把握し、リサイクルを含め地域における適正な流木処理フローを選定するために、階層分析法（AHP）を用いた評価モデルの構築を図った。北海道の 1 地域をモデルとして、AHPを用いた海岸流木処理フローの評価・選定手法を作成し、流木処理関係者（北海道、市町）へ

のアンケート調査をもとに評価を行った（図9）。結果は、道費補助・補助率5/10の場合、処理コストが重視され、海岸から陸域へ押上げ・集積しておく処理フローが選定された。国費補助および道費補助・補助率10/10の場合は、処理コスト以外に地場産業への貢献や地域住民への還元などが重視され、住民への無償配布を行った上で残りの流木を地場産業（製紙業、ボード工業）に貢献できる用途に利用するフローが選定された。

本手法は、海岸流木の処理フローの選定において、処理コスト以外にも地域への貢献や環境との共生などのような定量化しにくい様々な評価項目を取り込んでモデル化し、評価者の経験や勘に基づく判断が評価に反映されるものである。また、複数の関係者による異なった評価も比較的容易に統合化することができる。

海岸漂着物の処理に関しては、「海岸漂着物処理推進法」が制定され、今後、都道府県ごとに海岸漂着物対策推進協議会の設置や関係者の相互協力などを定めた地域計画が策定される予定である。このなかで、行政機関以外にも地域住民や環境NPOなどの団体が海岸漂着物の処理対策に参画する方向にあり、本研究で提案した手法は多様な関係者によって海岸漂着物を処理するための意思決定手法として有効になるものと思われる。

・ 結論

河川ならびに海岸における流木の漂流、漂着解析を行った。また、用途拡大に向けた脱塩処理を検討し、簡易手法を明らかにした。さらに、海岸管理者や処理業者等の聞き取りにより地域の処理実態を把握し、処理コストや活用の方向性の検討、適正なりサイクルシステム形成に向けた判断手法ならびにフローを整理した（図10）。

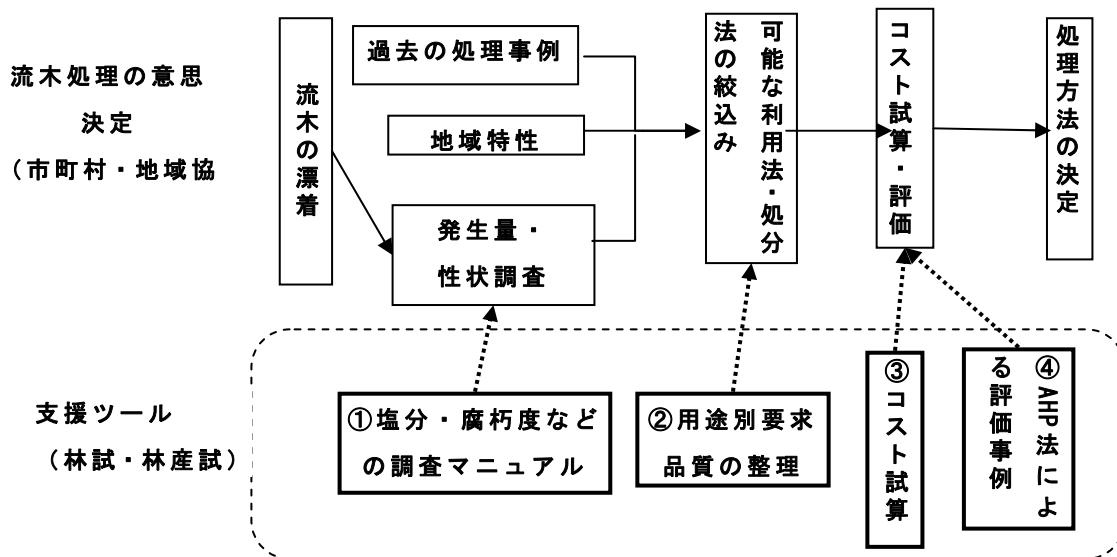


図10 海岸流木処理の意思決定フローと支援ツール

本研究により、流木の収集・粉砕・改質・輸送にかかる規模、能力等、コストや市場性、資源の活用度、地域貢献、環境との共生などの視点から、適正な処理技術を選定するための評価手法が開発され、支援制度のあり方を併せて複合的に解析できた。今後も、各地の海岸の実態調査も行いつつ、処理マニュアルを精査することで、処理システムの適応性を向上し、海岸流木のリサイクル推進に寄与する必要があると思われる。

英語概要

研究課題名 「 Proposal for the clearing and recycling of coastal wooden debris
(Including coastal debris prevention) 」

研究代表者名及び所属 Naoto SAITO (Hokkaido forest products research institute)

共同研究者名及び所属 Shinichi SEINO, Yoshio ISHIKAWA, Hirotaka KOMATA,
Yukihiro KATO (Hokkaido forest products research institute)
Hajime SATOU, Masato KANNO, Hiroyuki TORITA, Kazuhiko MASAKA,
Yuu NAGASAKA, Minoru HUKUCHI, Tomoyuki ABE, Kazuhiro MINAMINO,
Akiko NAGASAKA, Kenji YAMADA (Hokkaido forestry research institute)

要旨

A proposal for the recycling of drift wood, we investigated the amount of drift wood debris on the shoreline and the cost effectiveness of new eco-friendly products.

The area of river basin and rainfall play important roles in moving of the debris to dams. It was not easy for the larger debris to move great distances.

There was a lot of debris near the river mouth after flooding and then covered with the sand.

By exposing to fresh water rapidly, the salt was removed from drift wood. The desalted wood was utilized as forest-biomass for compost, green materials and fuel and so on. The costs of the collection, grinding and transportation of the debris are an important problem of the recycle. The systems to calculate the cost and public estimate such as the reducing of the CO2 emission performance of the recycle was developed for any of the district. The Analytic hierarchy process was a good guiding principle for drift wood eco-friendly products. In conclusion it is vital that we recycle drift woods for effective utilization, reduction of environmental loads.

キーワード

Recycling, Drift wood, Cost, Analytic hierarchy process, Desalt