ー研究（Original Article）ー

海岸流木における塩分の浸透と溶出

斎藤　直人，清野　新一[*1]，石川　佳生[*2]，古俣　寛隆[*3]

Salt permeation and desalination of coastal wood debris

Naoto SAITO, Shin'ichi SEINO, Yoshio ISHIKAWA, Hirotaka KOMATA

For recycling of coastal wood debris, we investigated the amount of salt permeation and desalination of driftwood found on the coast. Salt penetrated the saturated wood. There was as much salt as ash in the bark and outside of the wood; however, inside the salinity was low. By passing deionized water through a column of the salty particle wood, the salt content was decreased readily to 0.5 ～ 1 %. After one year, the salt content in driftwood at a lumberyard decreased. By exposure to fresh water, the salt was removed from the driftwood. Then the desalted wood could be utilized as forest biomass for compost, green materials, fuel and so on.

Key words: Recycling, Driftwood, Seawater, Desalination
リサイクル , 流木 , 海水 , 脱塩

海岸流木のリサイクルに向けて , 塩分の浸透性ならびに溶出性を調べた。海水は , 高水分の流木に速やかに浸透した。樹皮や木口面からの浸透性が高いものの , 内部の濃度は高くなかった。流木を粉砕し , カラム方式で脱イオン水を浸透させることで , 速やかに 0.5 ～ 1%以下に脱塩できた。実際 , 海岸線から回収され内陸に 1 年間集積されたものは塩分が低かった。これらの結果から , 海岸流木は適当な脱塩処理により木質バイオマスとして活用できることがわかった。

1.　はじめに

北海道のいくつかの海岸では , 経常的に雨量の多い初秋に流木が漂着している。これらの地域では , 住民ボランティアによる海岸清掃 , あるいは水産業への被害抑制に向けた自治体の連携による回収 , 処分が行なわれている。海岸環境を健全に維持するためには , 計画的に流木を処理し , 活用を図ることが必要である。

流木は海上を漂流することで , 損傷部 , 割裂部から海水が浸入し , 流木の径級 , 損傷度 , 腐朽度 , 漂流期間などにより浸透性は異なるものの , 最大で自重の約 2 倍量の海水を吸収する [1)]。このような流木は , 8%程度の塩分含量となる。一般的に河道内やダムから回収される流木は , 園芸用培土 , 敷料 , 燃料に利用されるものの , 海岸流木については含有する塩分によって用途が限定される。すなわち , 園芸用培土の用途では塩分濃度 0.76%以下 , 堆肥は 1%程度 , 木質ペレット燃料は塩素含有率 0.05%以下 , 一般燃料では 0.4%以下であることが一般的に求められる。

ここでは , 海岸流木の速やかな処理・活用に向け , 塩分を低減するため , 流木における海水の浸透・溶出挙動を把握するとともに , 用途展開に向けた実用的な脱塩方法を検討した。

なお , 当該研究は環境省「平成 19 ～ 21 年度循環型社会形成推進科学研究費補助金」により実施した「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）」の成果の一部である。

2.　実験方法

2.1　塩分の測定と人工海水の調整

2.1.1　灰分の測定

本報告では人工海水を調製し , これに新鮮な木材等を浸せきして塩分量を調べるとともに , 実際に海岸に漂着した流木の塩分等も調べて，それらの関係から塩分の浸透性ならびに溶出性を求めた。なお，海水には塩素以外の塩分も含まれること，塩分と灰分との相関性が高いことを予備試験で確認して

いることから，ここでは，簡易な灰化により灰分の増減を求めて塩分挙動とすることとした。すなわち , 海水や人工海水の浸透した木材をマッフル炉にて 600℃で灰化し , その残さである灰分を求め , 重量の増減を塩分の浸透・溶出挙動とした。なお , 海水成分と木材や樹皮中に含まれる灰分とを区別する場合は , 灰分に純水を加えて水溶化した後にろ別し , 得られる可溶分のみを乾燥した残さを塩分とした。

2.1.2　人工海水の調製

人工海水の調整には，塩化ナトリウム（NaCl）24.54 g/L, 塩化マグネシウム（$MgCl_2$・$6H_2O$）11.10 g/L, 硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）4.09 g/L, 塩化カルシウム（$CaCl_2$）1.16 g/L, 塩化カリウム（KCl）0.69 g/L, 炭酸水素ナトリウム（$NaHCO_3$）0.20 g/L, 臭化カリウム（KBr）0.10 g/L, ほう酸（H_3BO_3）0.03 g/L, 塩化ストロンチウム（$SrCl_2$・$6H_2O$）0.04 g/L, ふっ化ナトリウム（NaF）0.003 g/L を混合し , 純水および 0.05mol/L 炭酸ナトリウム溶液を用いた。なお, 調整した人工海水は pH8.0, 塩分は 3.87%であった。

2.2　流木の海水の浸透性

2.2.1　原料水分と浸透性

原料の水分（試料重量中の水の割合%）と海水の浸透性の関係を調べるため , トドマツの枝を用いた。枝は，材長 27cm, 材部直径 25mm, 樹皮厚 1mm の生状態で , 長さ方向に 2 分割した。一つの試料は，生状態（水分 54.7%），もう一つの試料は水分 32.3%に調整したもの（乾燥状態）を用いた。試料は人工海水に 3 日間浸せきした。端部から長さ 1cm ごとに切り取り , 材外側（形成層から 5mm）, 材内側（髄から 5mm）, 樹皮の 3 種類を各々 2mm 以下に粉砕し , 灰分を調べた。

2.2.2　海岸に漂着した流木の灰分測定

漂着した流木の灰分は , 長万部川の河口（北緯 42 度 31 分 , 東経 140 度 23 分）から得た材長 15m, 末口径 15cm の材部が黄変したトドマツ（**第 1 図**）をサンプルとした。そこから厚さ 2cm の円盤を切り出し , 形成層側から中心に 2mm ごとに切り分けて , 粉砕し灰分を調べた。

2.2.3　内陸に集積した流木の灰分測定

漂着による塩分の経年変化を調べるため ,2008 年 7 月に十勝川河口（地点：北緯 42 度 42 分 , 東経 143 度 40 分）でヤナギ類を採取した。海岸線に近いところの漂着木と , 前年（2007 年）に漂着し , 回収して内陸側（約 100m）に集積した集積木を , 前述の試料と同様に形成層側から中心に向かって 2mm ごとに切り分け , 粉砕し灰分を調べた。なお, 試験数は漂着木，集積木ともに 3 個体であった。

第 1 図　海岸に漂着したトドマツ（左）とその切断面（右）

Fig. 1. （Left）Driftwood（*Abies sachalinensis*: Todomatsu）,（Right）Cut surface.

2.3　塩分の溶出試験

燃料や堆肥への活用が図られる塩分 0.5 ～ 1%を目標とするため，イオン交換水（純水）による塩分の溶出挙動を調べた。すなわち , 人工海水に浸せきした粒径 4mm のトドマツ粉砕物 5g をバッチ方式とカラム方式にて , 所定量の純水で洗浄した。

2.3.1　バッチ方式による脱塩

バッチ方式では , 人工海水を浸透させたトドマツ粉砕物 5g を所定の液比 100L/kg（液比：木材単位重量当たりの水の総量比）で所定時間浸せきし , 塩分の溶出を行った。さらにトドマツ粉砕物を 10 種類の粒度に分級し , 各々純水（液比 33L/kg）にて 15 分間隔で撹拌しながら所定時間溶出させた。処理した粉砕物の灰分の低減量から脱塩効果を調べた。

2.3.2　カラム方式による脱塩

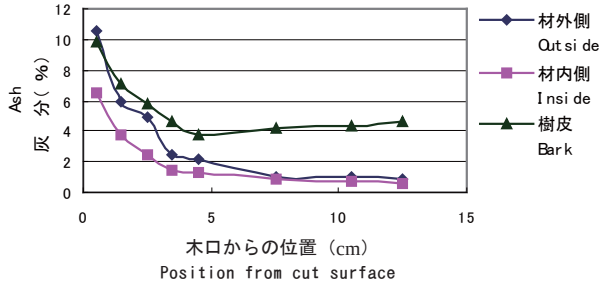
人工海水を含浸させた所定量の粉砕物をカラムに充填し , 純水を流下させて時間 , 処理回数 , 液比 , 温度等の影響を調べた。すなわち , トドマツ粉砕物をカラムに充填し , 純水 15mL（液比 7.5L/kg）を加えて室温下で所定時間浸せきした後 , 排水して脱塩効果を調べた。一度洗浄した粉砕物はカラムに充填したまま , 新たに純水を加える脱塩処理を 5 回行った。

3. 結果と考察

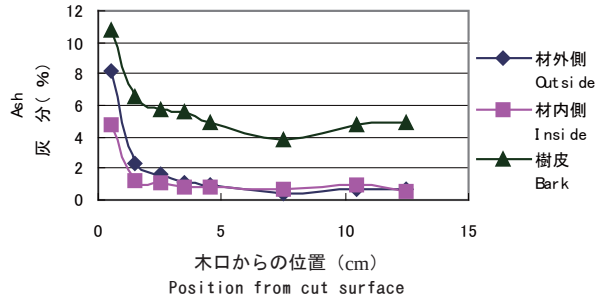
3.1 流木に対する海水の浸透性

林内，中州，川岸等に漂着するなどして乾燥を履歴として持つものと，斜面が崩壊して立木が一挙に河口まで押し流された高水分の流木とでは，海水の浸透性が異なるものと思われる。事実，採取直後のトドマツは，人工海水に容易に水没した。そして材の灰分は，切断した木口面から 3 ～ 4cm 程度までが多く，5cm 以上では灰分がほぼ一定で海水の浸透性は低いことがわかった（**第 2 図**）。生のトドマツは材密度が高いため水没しやすく，浸透圧から海水が速やかに浸透すると思われた。なお，樹皮の塩分はいずれも高く，塩分量が課題となる用途には，樹皮の除去も検討を要するものと思われた。

一方，トドマツを水分 30%程度にした場合，時間内で人工海水に水没することはなかった。そして，切断した木口面から 2cm 程度の位置で灰分は 1%以下となった（**第 3 図**）。乾燥により空気層が多くなるため，長く漂流しなければ水没には至らず，海水の浸入も少ないものと思われた。



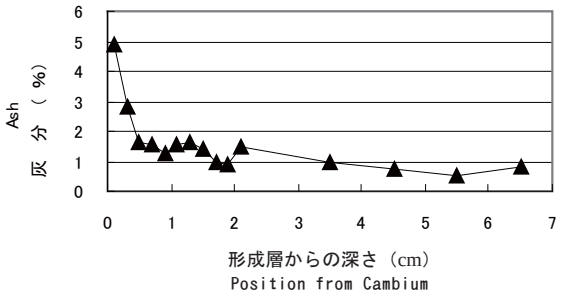
第 2 図　生のトドマツ (水分 54.7%）に対する海水の浸透性
Fig. 2.　Osmosis of seawater into a green tree.



第 3 図　乾燥したトドマツ（水分 32.3%）の海水の浸透性
Fig. 3.　Osmosis of seawater into a dried tree.

3.2 漂着した流木の塩分量

実際に漂着していた流木の海水の浸透性を調べた。形成層側から 0.4cm までは塩分が高く，順次低下し，1.0cm まで海水の浸透が示唆された（**第 4 図**）。それより内側は概ね 1%であった。黄変は深く見られるものの，塩分は表面の辺材部への浸透に止まり，流木の活用には表面の塩分に留意することが重要と思われた。



第 4 図　流木における海水の浸透性
Fig. 4.　Osmosis of seawater into driftwood.

3.3 塩分の経常変化

2008 年の十勝川河口には，流木が少なく，劣化した流木が多かった。海岸線から採取した流木には塩分が高い漂着木 C や，漂着木 A，B のように塩分の少ないものも見られた（**第 5 図，第 1 表**）。

そして，表層から 2mm ごとに切り分けた部位で塩分に差がある場合は，海水の浸入が明らかであった。一方，多くの集積した流木には，変色や腐朽が

第 5 図　十勝川河口の漂着木の断面
Fig. 5.　Surface of driftwood at the mouth of the Tokachi River.

第 1 表　十勝川河口の漂着木の灰分
Table 1.　Ash contents of driftwood at the mouth of the Tokachi River.

流木 Driftwood	樹皮の灰分（%） Ash of bark	形成層からの距離と灰分（%） Ash of the position from Cambium 0 ～ 2mm	2 ～ 4mm	4 ～ 6mm
漂着木Ａ Wood at beach A	－ Come off	1.45	0.42	0.89
漂着木Ｂ Wood at beach B	6.40	0.73	0.51	0.55
漂着木Ｃ Wood at beach C	－ Come off	7.34	8.35	3.34

多く見られるものの変色の強い集積木Ａでも塩分は低く（第 6 図，第 2 表），集積後の降雨などによる塩分低下が示唆された。

集積木 A　Wood at yard A　集積木 B　Wood at yard B　集積木 C　Wood at yard C

第 6 図　内陸側の集積木の断面
Fig. 6.　Surface of driftwood from the mouth of the Tokachi River stored at a lumberyard.

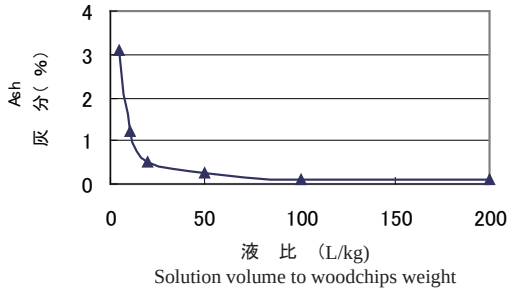
第 2 表　内陸側の集積木の灰分
Table 2.　Ash contents of driftwood from the mouth of the Tokachi River stored at a lumberyard.

流木 Driftwood	樹皮の灰分（%） Ash of bark	形成層からの距離と灰分（%） Ash of the position from Cambium 0 ～ 2mm	2 ～ 4mm	4 ～ 6mm
集積木Ａ Wood at yard A	－ Come off	0.88	0.38	0.38
集積木Ｂ Wood at yard B	3.25	0.77	0.78	0.57
集積木Ｃ Wood at yard C	－ Come off	0.76	0.83	0.74

3.4　脱塩方法の検討

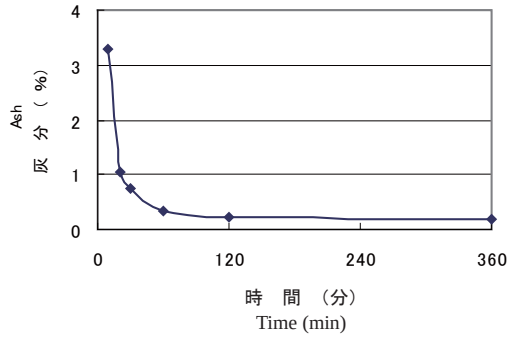
3.4.1　バッチ方式による脱塩方法の検討

効率的な脱塩処理とするためには，洗浄水の総量が少ないことが必要なことから，まずは水量の影響を調べた。液比が大きくなるに伴って塩分量は低下し，液比 20L/kg（純水 100mL/ 粉砕物 5g）で 20 時間の浸せきでは 0.5％程度となった（第 7 図）。液比が少ないと，均一な洗浄が為されないものの，液比 50 L/kg で十分と思われた。液比 100 ～ 200 L/kg で灰分は 0.1％程度まで低下するものの，目標の 0.5 ～ 1％以下には液比 25 ～ 50 L/kg が適当と思われた。



第 7 図　脱塩における液比の影響
Fig. 7.　Solution volume to woodchip weight for desalination.

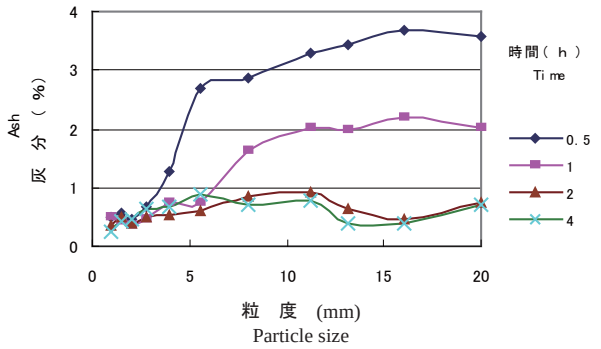
次に，脱塩時間の影響を調べた。脱塩時間が長くなるほど灰分は減少し ,60 分以降は安定した（第 8 図）。脱塩により濃度 1％とするには 20 分，安定化には 60 分程度が必要と思われた。



第 8 図　脱塩のための浸せき時間の影響
Fig.8.　Effect of time on desalination.

脱塩にかかる粒度の影響としては ,1％以下には 3mm 以下の粒度で 30 分浸せきが必要であった（第 9 図）。4mm では 30 分の浸せきで約 1.5％ ,2 時間で約 0.5％となり ,6mm 以上の粒度では 2 時間以上が必要であった。これらの結果から，粒度は脱塩に

大きな影響を及ぼし，4mm 程度に粉砕することが適当と思われた。なお ,4mm の粉砕物はチッパーダスト（パルプ用チップ製造のアンダーサイズ）の大きさに相当する。そして , 繊維方向に長い形状ほど , 純水の浸透性も高いことから，チップダスト程度に粉砕することが良好と思われた。



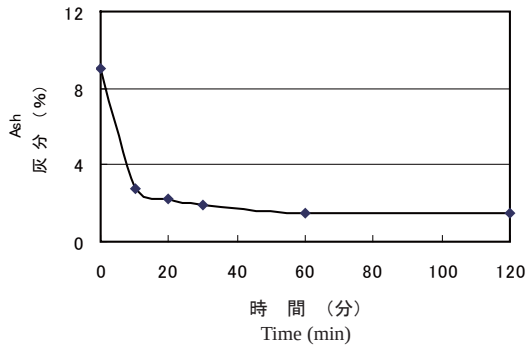
第 9 図　脱塩に及ぼす粒度ならびに浸せき時間の影響

Fig. 9.　Effects of size and immersion time on desalination.

3.4.2　カラム方式による脱塩方法の検討

脱塩システムにおいてはバッチ方式とカラム方式が考えられるが , 規模を抑え , 排水の発生量を低減するにはカラム方式が一般的である。バッチ方式の結果を踏まえて , カラム方式の適正条件を検討した。

カラムでの浸せき時間の影響を調べたところ ,10 分では灰分が 3%程度であったものの ,60 分で 1.5% までに低下した（第 10 図）。液比が小さいので目標

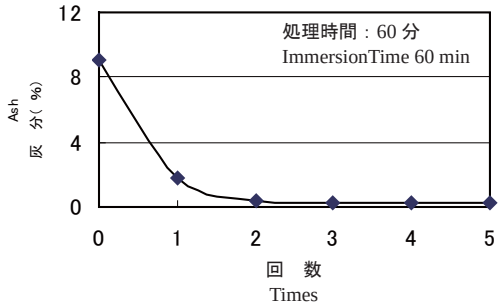


第 10 図　塩分に及ぼすカラム浸せき法の時間の影響

Fig. 10.　Effect of immersion time in column on desalination.

とする塩分には達しないが , 浸せき時間は 30 分程度必要で 60 分以降で安定し，バッチ式と同様の結果であった。

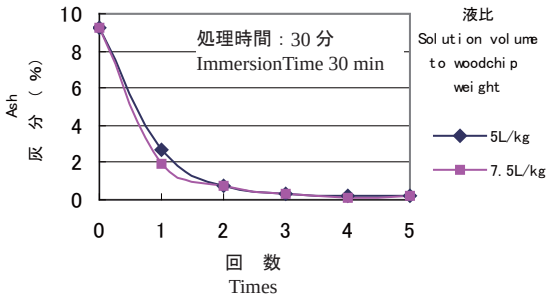
カラムで洗浄する際の純水の交換数（処理回数）の影響を調べた（第 11 図）。1 回目の洗浄では灰分が 1.7%であったものの ,2 回目で 0.4%まで低下した。すなわち , 海岸流木の粉砕物をカラムに充填し , 液比 7.5L/kg を 2 回繰り返す方式で塩分濃度は効果的に低下することが明らかとなった。



第 11 図　塩分に及ぼす処理回数の影響響

Fig. 11.　Effect of the number of immersions on desalination.

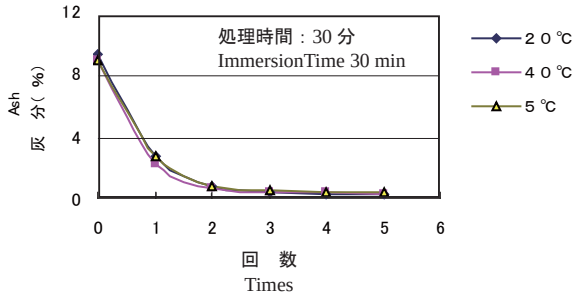
さらにここで処理回数と液比の関係を調べた（第 12 図）。処理時間 30 分では 2 回目の洗浄で灰分 0.8% ,3 回目で 0.3%となった。30 分をサイクルとするカラムでは ,3 回以上の繰り返しが必要と思われた。さらに液比を 5L/kg に減らして 30 分で繰り返した場合は ,2 回目で 0.8%に ,3 回目で 0.3%と液比 7.5L/kg との相違はなかった。すなわち , 灰分を 0.5%程度に低下するためには , カラムに充填して液比 5L/kg で 30 分間浸せきを 3 回繰り返すことが適当であった。



第 12 図　脱塩に及ぼす処理回数および液比の影響

Fig. 12.　Effects of solution volume to woodchip weight and time on desalination.

さらに処理温度の影響を調べた（第 13 図）。5℃と 20℃では 1 回目の洗浄で灰分 2.6％であったが ,40℃では 2.1％まで減少し , 温度の影響が若干認められた。高い温度では , 塩分の溶解性が上がるためと考える。しかし , 温度の影響が小さいことから , 例えば , 河川水や雨水の使用の可能性が示唆された。



第 13 図　脱塩に及ぼす温度の影響
Fig. 13.　Effect of temperature on desalination.

4.　まとめ

堆肥や緑化資材 , 燃料には適正な塩分濃度の木質材料が求められることから , 海岸流木の処理を推進する上では , 塩分の低減は重要な要因である。ここでは , 流木に対する海水の浸透性 , 塩分の溶出性ならびに , 洗浄による簡易な脱塩方法を検討した。

検討結果から , 海水は樹皮 , 材の外側に浸透するものの , 主に木口面からの浸入が多く , 流木の高水分のものほど海水の浸透が見られた。また , 実際に海岸に漂着している流木には , 海岸線のものでは一部に塩分の高いものが見られるものの , 回収後に内陸側に集積されたものには塩分の少ないことがわかった。

また，カラム方式で液比を小さくし，数回繰り返すことが有効な方法であることがわかった。

今後 , さらに実用的な脱塩システムとして屋外集積も想定しながら , 適正な粉砕 , 洗浄方法の検討が必要である。

文　　献

1）斎藤直人：林産試だより 2005 年 3 月号，4-6（2005）.

—技術部長—
—＊ 1：技術部生産技術グループ—
—＊ 2：利用部バイオマスグループ—
—＊ 3：利用部マテリアルグループ—

（原稿受理：10.12.27）