

## 〔報告〕 津波等で被災した文書等の救済法としての スクウェルチ・ドライイング法の検討

小野寺 裕子・佐藤 嘉則・谷村 博美\*・佐野 千絵・  
古田嶋 智子・林 美木子・木川 りか

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震後の津波によって、多くの文書等紙資料が被災した。海水に浸かった資料は塩による被害、カビなどによる生物劣化の被害、自然乾燥した場合に資料の波打ちが起こる可能性が考えられる。このような水害で被災した文書等の処理としては真空凍結乾燥があるが、特に広域の被害では冷凍庫や真空凍結乾燥機がすぐには手配できない場合もある。そこで冷凍庫や真空凍結乾燥機がなくても手近な道具で文書等を救済する方法として、2002年に起きたプラハ洪水において、水に浸かった資料等を乾燥させる方法として用いられたスクウェルチ・ドライイング法<sup>1)</sup>を検討した。水損した資料を想定し、塩水いわゆる食塩水、真水いわゆる純水に本を浸して実験を行ったので、その結果について報告する。

### 2. スクウェルチ・ドライイング法について

この方法は、イギリスの保存修復材料機器の会社 コンサベーション・バイ・デザインの創始者であるスチュアート・ウェルチ氏によって考案された。濡れた本を水取り紙（新聞紙など）でくるみ、酸素バリア性のあるプラスチックの袋に入れ、脱気して袋を熱圧着する脱水方法である<sup>2)</sup>。

今回は市販の座布団圧縮袋と掃除機の組み合わせ、あるいは脱気シーラー（富士インパルス株式会社製 マイコン制御卓上型ノズル式脱気シーラーV-402）と専用のプラスチックの袋の組み合わせの2通りの方法で検討した。必要な道具および作業手順は以下の通りである。

#### 【必要な道具】

座布団圧縮袋（脱気シーラーを使用する場合は、酸素バリア性のあるプラスチックの袋）、掃除機（または脱気シーラー）、新聞紙、新聞紙が本に付着するのを防ぐための不織布（今回は、株式会社 吉田商店 ポリエステル紙 No.12を使用した）

#### 【作業手順】

- ①新聞紙、不織布を本のサイズに合わせて切る（本の上下よりも1cm程度長めに切る）。
- ②新聞紙の上に「不織布」、「本」の順に置く。
- ③不織布で本を巻く。
- ④さらに新聞紙でくるむ。
- ⑤新聞紙にくるんだ本を重ねて座布団圧縮袋（またはプラスチックの袋）に入れる。
- ⑥圧縮袋（または脱気シーラー）の説明に従い脱気して、パッキングする。

---

\*紙保存修復家

- ⑦時間をおくと新聞紙が濡れてくるので、不織布はそのまま新聞紙を取り替える。(替える目安は最初の頃は1～2日おきが望ましい。乾いていくに従って、水分吸収により長い時間がかかるので3～4日と時間を延ばしていく。)
- ⑧完全に乾くまで新聞紙を替える作業を続ける。

### 3. 実験

#### 3-1. スクウェルチ・ドライイング法における本と新聞紙の接し方の検討

##### 3-1-1. 方法

市販の座布団圧縮袋を使用した。純水に3日間浸した本(A4判, 厚さ約9mm)を十冊重ねてその上下を不織布, キムタオル30枚, 新聞紙6日分で挟み(写真1), 新聞紙を取り替える度上から順に一冊ずつ本を取り出していった場合と, 純水に3日間浸した本(A4版, 厚さ約7mm)を一冊ずつ不織布, さらに新聞紙1日分でくるみ, それを十冊重ねた場合(写真2)の



写真1 数冊の本を重ね、全体の上下を新聞紙で挟んで実施したスクウェルチ・ドライイング法



写真2 本を一冊ずつ新聞紙でくるみ実施したスクウェルチ・ドライイング法

一冊ごとの重量を測定した。それぞれ十冊重ねた本の上から順に1～10の番号を付けた。

### 3-1-2. 結果

本をそのまま重ねた場合、5回処理した時点で脱水の挙動に差が出た。新聞紙に接していた一番下の本である純水10の脱水は早かった(図1)が、直接新聞紙に接していない本からは、なかなか脱水による重量変化が表れない結果となった。本一冊ずつ不織布と新聞紙でくるんだ場合は、重ねた順番による差は出ず、どの本も均等に脱水できた(図2)。一冊ずつ新聞紙でくるむには、手間や時間がかかるが、重ねた順番によって処理期間の差が出ず、すべて一定の期間で終わらせることができるため、このように一冊ずつ新聞紙でくるむのが望ましいと考えられる。

## 3-2. スクウェルチ・ドライイング法と風乾の比較

### 3-2-1. 方法

市販の座布団圧縮袋を使用した。純水に3日間浸した本(A4判、厚さ約7mm)を、朝刊1

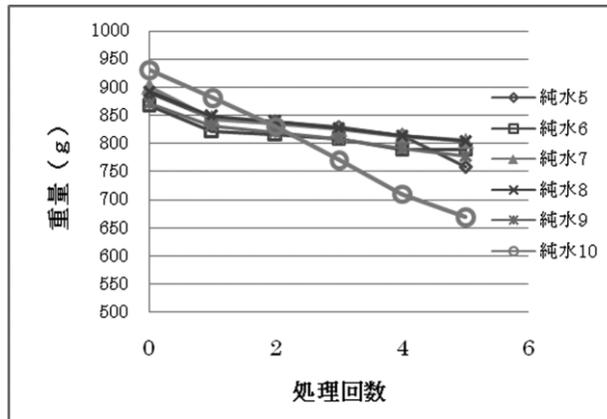


図1 数冊の本を重ね、全体の上下を新聞紙で挟んだ場合のそれぞれの本の重量の推移

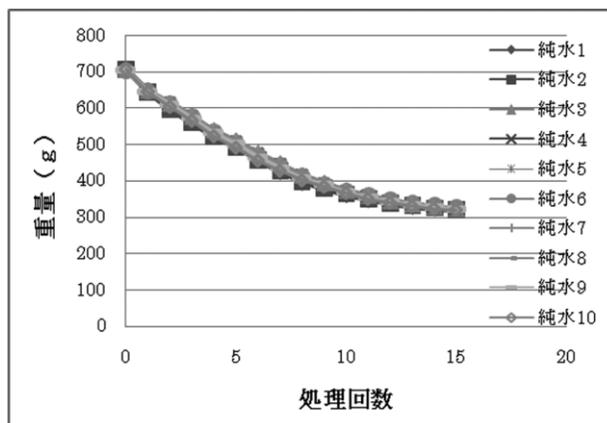


図2 一冊ずつ新聞紙でくるんだ場合のそれぞれの本の重量の推移

日分の新聞紙で一冊ずつくるんだものを十冊重ねてスクウェルチ・ドライイング法を実施した。また、純水に浸した本をキムタオルと不織布の上のせ、温湿度を管理していない環境で風乾させた。スクウェルチ・ドライイング法を実施した試料と、実施している同じ期間、風乾した試料を目視によって比較した。

### 3-2-2. 結果

十冊重ねた本の重量の平均値は、水浸前306.7g、水浸後706.7gだった。スクウェルチ・ドライイング法を実施し、新聞紙を24回取り替え91日間で、309.4g(水浸前と比較して重量増加が3g未満)となった。

処理には時間がかかるが、試料全体からゆっくと脱水するために、風乾した試料に起こった紙の波打ち(写真3-b)を、スクウェルチ・ドライイング法を実施した試料では抑えることができた(写真3-c)。

## 3-3. 食塩水と純水にそれぞれ浸した場合の比較

### 3-3-1. 方法

純水1Lに対して食塩(AJINOMOTO瀬戸のほんじお)35gを溶かし、3.5%(w/v)の食塩水とした。(以下、3.5%食塩水とする。)この3.5%食塩水と純水にそれぞれ8日間浸した本(A4判、厚さ約7mm)を、新聞紙朝刊1日分で一冊ずつくるみ3冊重ね、脱気シーラーを使用して処理した。また、3.5%食塩水に浸した本をキムタオルと不織布の上のせ、温湿度を管理していない環境で風乾させた。これら3種類の試料について重量変化、および目視により経過を比較した。

### 3-3-2. 結果

図3に、それぞれの場合の試料の重量変化を示す。重量は3.5%食塩水と純水にそれぞれ浸した3冊の本の平均値として示した。純水に浸した試料は、新聞紙を15回取り替えて55日後に、およそ水浸前と等しい重量になった。しかし3.5%食塩水に浸した試料は、15回処理しても完全には乾かなかった(図3)。さらに回数を重ね、29回処理した段階でも、水浸前の重量と比較して14gほど多かった。食塩水に浸してスクウェルチ・ドライイング法を実施する場合は、純水に浸してスクウェルチ・ドライイング法を実施するよりも、より処理に時間を要することがわかる。これに対して3.5%食塩水に浸し、風乾した試料では、2週間ほどでほぼ水浸前の重量に近い値まで減少した。

3.5%食塩水に浸した後、風乾した試料は紙に波打ちが起きたが(写真4-a)、スクウェルチ・ドライイング法は、試料全体からゆっくと脱水するため、29回実施した後の試料では、波打ちを押さえることができた(写真4-b)。

## 3-4. 食塩水に浸した後、スクウェルチ・ドライイング法と風乾で乾燥させた本の走査型電子顕微鏡による観察とエネルギー分散型X線分析装置による元素分析

### 3-4-1. 方法

3.5%食塩水に3日間浸した本(A4判、厚さ約7mm)の表紙である試料紙表面を走査型電子顕微鏡(SEM)(HITACHI製S-3700N)による観察と、SEM付属のエネルギー分散型X線分析装置(EDS)(OXFORD INSTRUMENTS製X-Max)による元素分析を行った。食塩水に浸す前の未処理の試料、食塩水に浸した後、スクウェルチ・ドライイング法で29回処理



a. 純水に水浸前の試料 (左表紙, 右見開き)

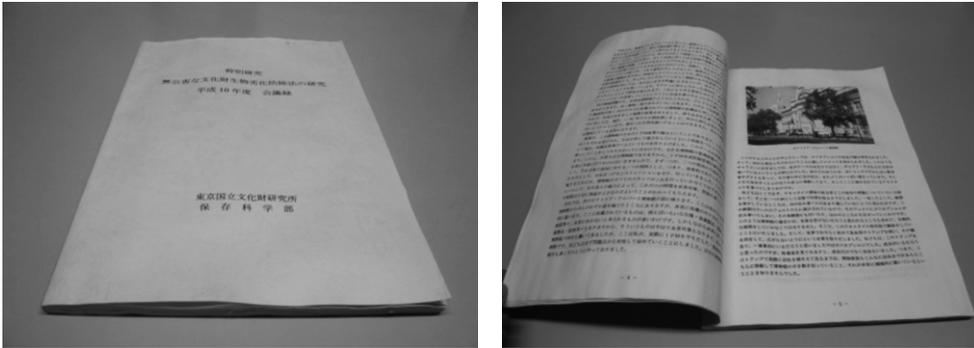


b. 純水に水浸後, 風乾した試料 (左表紙, 右見開き)

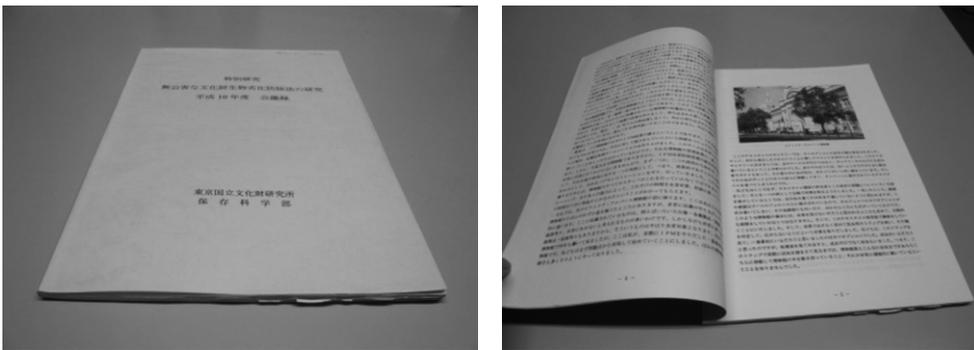


c. 純水に水浸後, スクウェルチ・ドライイング法を実施した試料 (左表紙, 右見開き)

写真3 試料の外観(1)



a. 3.5%食塩水に水浸後，風乾した試料（左表紙，右見開き）



b. 3.5%食塩水に水浸後，スクウェルチ・ドライイング法を実施した試料（左表紙，右見開き）

写真4 試料の外観(2)

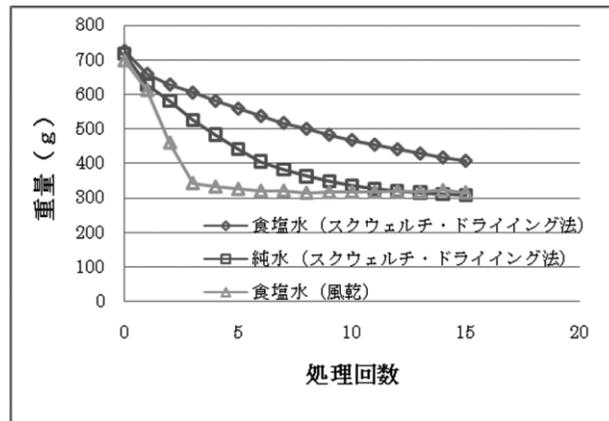


図3 3.5%食塩水および純水に水浸し，スクウェルチ・ドライイング法を実施した場合と，3.5%食塩水に水浸し風乾した場合の本の重量の推移

した試料，風乾した試料を比較した。

### 3-4-2. 結果

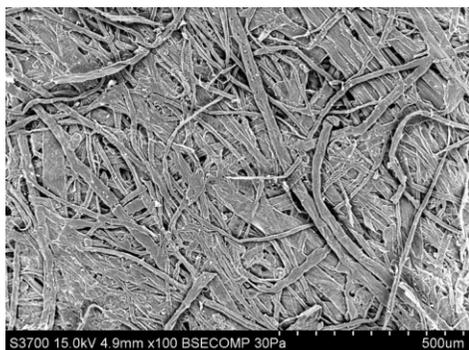
SEMによる観察では，未処理の試料では粒子状のものは見えなかったが（写真5-a），風乾した試料は粒子状のものが観察され（写真5-b），倍率を上げると結晶状の粒子が観察された（写真5-c）。これに対し，スクウェルチ・ドライイング法で処理した試料では，大きな結晶状の粒子は観察されなかった（写真5-d）。

SEM-EDSを用いて，SEMによって観察された粒子部分を分析した。風乾した試料の粒子からは，主要な構成元素としてNaとClのピークが検出された。スクウェルチ・ドライイング法を実施した試料の粒子部分からは，今回の測定では明確なNaとClのピークは検出されなかった。しかし紙試料の中にどの程度の塩分が残存しているかは，本結果からは情報を得られないため，今後の詳細な検討を要する。

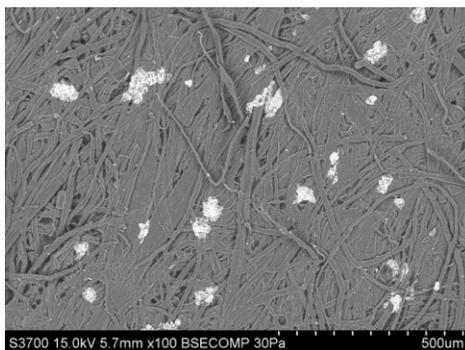
## 3-5. スクウェルチ・ドライイング法に用いる水取り紙（新聞紙）の量の比較

### 3-5-1. 方法

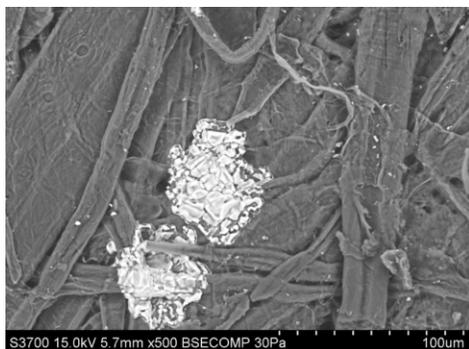
脱気シーラーを使用して，3.5%食塩水に3日間浸した本（A4判，厚さ約7mm）をくるむ新



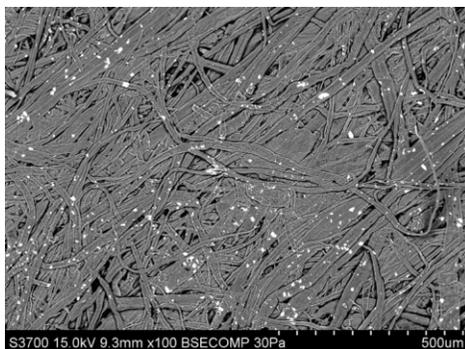
a. 3.5%食塩水に水浸前の未処理（100倍）



b. 3.5%食塩水に水浸後，風乾（100倍）



c. 3.5%食塩水に水浸後，風乾（500倍）



d. 3.5%食塩水に水浸後，スクウェルチ・ドライイング法を実施（100倍）

写真5 試料紙表面のSEM像

新聞紙の量が、朝刊1日分と2日分の場合の、それぞれの本の重量の変化および重量減少量を比較した。

### 3-5-2. 結果

1回に使用する新聞紙を2日分として量を増やすと、試料の重量変化が早くなった(図4)。新聞紙の量を2倍にすることで、最初の6回は重量減少量が約2倍となった(図5)。最初の新聞量をより増加させる、あるいは交換のペースを速くすることで処理回数を少なくする効果があると考えられる。また、途中から新聞紙の量を多くしても処理効率を上げる効果はないので、数回行った後は、新聞紙の量を減らしても良い。

## 4. まとめ

スクウェルチ・ドライイング法は、本の大きさに合わせて新聞紙を切り、新聞紙を定期的に取り替えるなど手間と人手を必要とする。しかし、風乾と比較して、本全体からゆっくりと脱

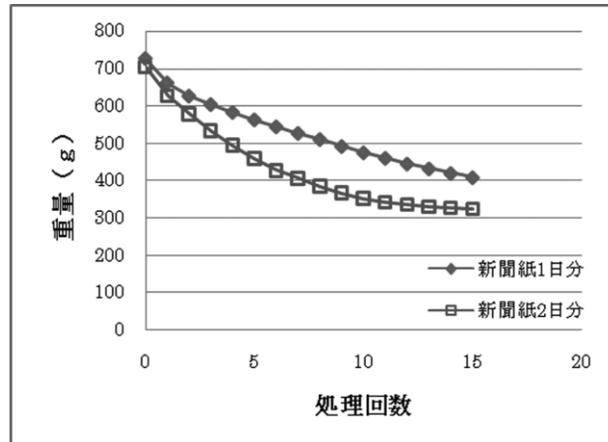


図4 スクウェルチ・ドライイング法で用いる水取り紙(新聞紙)の量の違いによる本の重量の推移

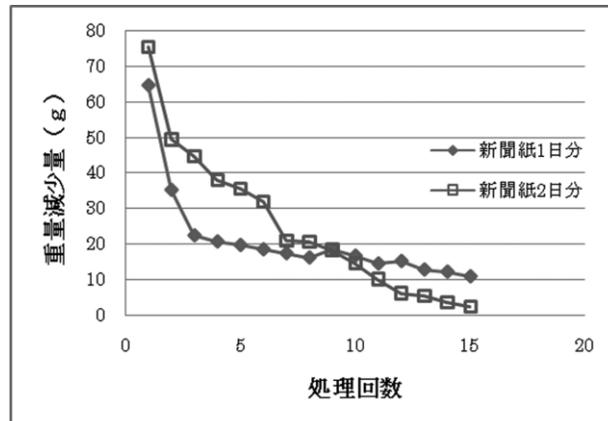


図5 スクウェルチ・ドライイング法で用いる水取り紙(新聞紙)の量の違いによる本の重量減少量の推移

水するために、処理後の紙の波打ちを防ぐことができる。新聞紙を取り替えるタイミングや量を工夫することにより、処理期間を短くすることもできる。

また、何よりも冷凍庫、真空凍結乾燥機などがなくても処理ができるため、処理の選択肢を広げる点で大きな意味がある。また、海水（食塩水）で濡れた場合は、処理の過程で新聞紙が食塩水を吸い取っていくので、自然乾燥や真空凍結乾燥と比較して、塩分の残留する量が少なくなると推測される。今回は塩分の残存量について十分な検討ができなかったため、今後より詳細に検討していきたい。

使用した座布団圧縮袋は市販されているもので、掃除機も家庭にあるもので良いため、道具が入手しやすい。しかし、上手く圧縮袋の弁を閉めなければ空気が入り、本にカビが生えてしまうことがある。その点、脱気シーラーは機械により自動的に脱気、圧着が十分にできた。また、3.5%食塩水と純水に本を浸した後、処理を続けていく過程でツンとする臭いがした場合もあり、これはバクテリアなどの繁殖によると考えられる。しかし、資料が水浸してから時間を置かずに、カビや腐敗などがひどくない段階で処理を開始し、パッキングにより空気を十分に遮断すれば、スクウェルチ・ドライイング法による処置は概ね生物劣化、主にカビの被害に対しても有効であると考えられる。

#### 付記

本報告の最後に、東京文化財研究所のホームページに掲載予定のスクウェルチ・ドライイング法のマニュアルを、資料として添付した。

#### 謝辞

スクウェルチ・ドライイング法で使用した脱気シーラーは、ラーソン・ジュール・ニッポン株式会社より無償でご提供いただきました。記して感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) [http://www.conservation-by-design.co.uk/supplyimages/WF000/cxd\\_brochure.pdf](http://www.conservation-by-design.co.uk/supplyimages/WF000/cxd_brochure.pdf)
- 2) Hadgraft Nicholas, Welch Stuart: Vacuum-packing and its implications for library, archive and related materials, Paper conservation news 89, 12-14 (1999)

キーワード：スクウェルチ・ドライイング法 (squelch-drying technique)；パッキング (packing)；被災文書 (disaster-affected documents)；被災対応 (disaster response)

## [資料]

## スクウェルチ・ドライイング法マニュアル

## 1. スクウェルチ・ドライイング法とは（木川りか・谷村博美・小野寺裕子・佐藤嘉則）

イギリスの保存修復材料機器の会社 コンサベーション・バイ・デザイン（Conservation By Design）の創始者であるスチュアート・ウェルチ（Stuart Welch）氏によって考案され、プラハ洪水で被災した書籍への応急処置として採用された脱水方法。濡れた本を水取り紙（新聞紙など）でくるみ、酸素バリア性のあるプラスチックの袋に入れ、脱気して袋を熱圧着する。

## 利点

- ・冷凍庫、真空凍結乾燥機などがなくても処理ができる。
- ・海水（塩水）で濡れた場合は、処理の過程で塩水を吸い取っていくので、自然乾燥や真空凍結乾燥と比較して、塩分の残留する量が少なくなると推測される。
- ・処理をしている間に、資料の整形ができる。

## 欠点

- ・人手が必要。
- ・時間がかかる。
- ・時間がかかるので、カビや腐敗がひどい場合は、あまり向かないと思われる。  
（嫌気性細菌の繁殖は、酸素を遮断しても防止できない。）

## 適用

とくに海水で濡れた場合に、カビ、臭いが少なく、人手がある場合に向いた方法と考えられる。

## 2. 脱気シーラーを使用したスクウェルチ・ドライイング法の例 (谷村博美・小野寺裕子)

市販の真空パック用脱気シーラー (食品用など) を利用した方法である。なお, 埋蔵文化財用に使用されている脱気シーラーも使用可能であると考えられる。



使用した富士インパルス株式会社製 マイコン制御 卓上型ノズル式脱気シーラー V-402

※電源コンセントは, 家庭用100V対応に改変したもの。

### 2-1. 用意するもの



- ・酸素バリア性のあるプラスチックの袋 (この場合は, V-402専用規格袋 XL-55)
- ・水取り紙 (新聞紙)
- ・新聞紙が本に付着するのを防ぐための不織布

(例. 株式会社 吉田商店 ポリエステル紙 No.12)

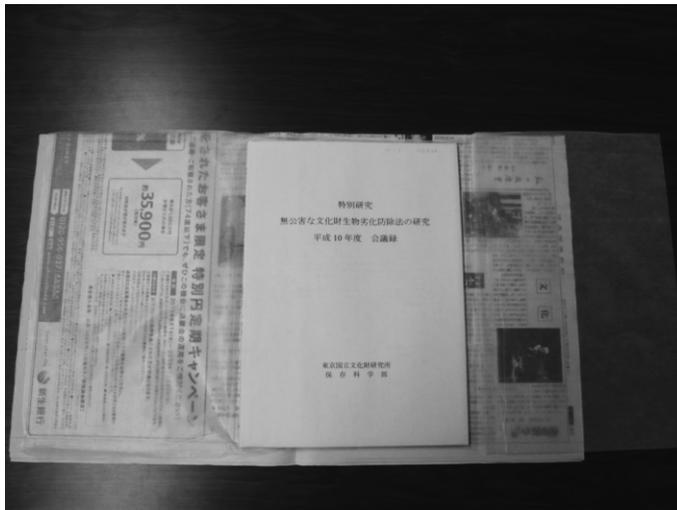
※レーヨン紙では薄すぎてくっつくことがあるので, 薄めのポリエステル紙を使用すると良い

## 2-2. 作業手順

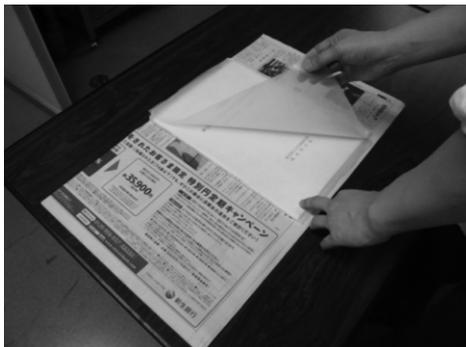
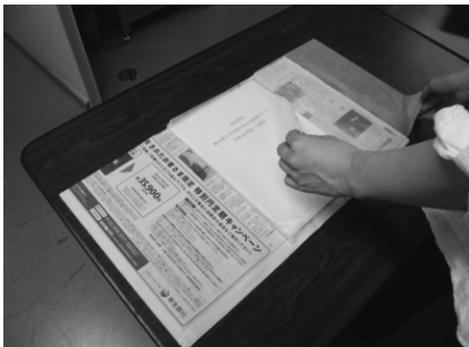
- ①新聞紙, 不織布を本のサイズに合わせて切る  
(本の上下よりも1cm程度長めに切る)



- ②新聞紙の上に「不織布」, 「本」の順に置く



## ③不織布で本を巻く



## ④さらに新聞紙でくるむ



※不織布は薄いので重なりは気にならないが、新聞紙の重なりによって出来る段差が本と本を重ねた面に当たらないように注意する。このため、一番外側となる上下の本では、新聞紙の段差を外側にしてくるみ、内側に重ねる本では、二つ折りの新聞紙の間に本を挟んだ状態にする（例、下図）



⑤新聞紙にくるんだ本を袋に入れる（一つの袋に、3冊程度）



⑥シーラーの電源を入れ、フットスイッチ（1回目）を踏む  
→ ノズルが出てくる



⑦袋にノズルを差し込み、シール位置を確かめながら、袋の両端を整える  
（袋にしわが寄らないように、両手で袋を左右にぴんと張る）



⑧フットスイッチ（2回目）を踏む

- 圧着レバーが降下し、ノズルと袋を挟み込む  
(圧着レバーが閉じるまでスイッチを踏んだ状態を保つ)



⑨袋の内容物をノズルの近くまで持ってくる



⑩フットスイッチ（3回目）を踏む

- 脱気がスタートする

⑪脱気により袋が内容物に張り付いた時点で、フットスイッチ（4回目）を踏む

- スイッチを踏むと、次の工程が自動的に行われる  
→ 脱気終了 → ノズル後退 → 加熱によるシール → 冷却 → シール終了  
→ 圧着レバーが上がる

⑫ 1回目のパッキング終了



機械は、ラーソン・ジュール・ニッポン株式会社より、被災文化財レスキューのために無償でご提供いただきました。

### 2-3. 注意事項

- ・新聞紙の量は、薄い本で朝刊2日分、厚くなれば朝刊3、4日分必要になる。  
(多すぎるということは無いので、特に最初のうちは多めに使用する)
  - ・2回目のパッキングからは、不織布を替える必要はなく新聞紙のみを取り替える。
- ※衛生面から汚染のひどい新聞紙は、再利用せず廃棄するのが望ましい。
- ・袋はシールした部分から出来るだけ端の部分を持って開け、繰り返して使用が可能。(穴が開いたり、袋の長さが足りなくなるまで使用できる)
  - ・新聞紙を替えるタイミングは、最初の頃は1～2日おきが望ましい。乾いていくに従って、水分吸収により長い時間がかかるので3～4日と時間を延ばしていく。
  - ・乾くまでの目安は、朝刊1日分の新聞紙を使用した場合は約1ヶ月、新聞紙を13～18回ほど取り替える。(新聞紙の表面が濡れたら取り替え、こまめに替えると処理期間が短くなる)
  - ・根気よく本が完全に乾くまで、パッキングを続ける。
- ※まだ湿っているうちにパッキングを止めてしまう、あるいは袋から出してしまうと、紙が波うってしまう。



乾く前に外へ出し、波打ちが出た本

- ・ハードカバーの本は、濡れている状態で開こうとすると、本によっては綴じが損傷するので、最初のうちは極力、本を開かないようにすることが大切。
- ・カバーのついた本の場合は、カバーを取り除いてパッキングする方が早く乾く。
- ・和本の場合、最初のうちは洋本よりずっと大量の水が出るので、新聞紙を多めに、また早めの取り替えをした方がよい。和紙の場合、2週間以内で乾くことが多い。

### 3. 市販の座布団圧縮袋と掃除機を使用したスクウェルチ・ドライイング法の例 (小野寺裕子・佐藤嘉則・木川りか)

市販の座布団圧縮袋，家庭用掃除機，新聞紙などを使用するので，(不織布以外に)特別な機材がなくても迅速に処理が開始できる。なお，冷凍庫が調達できれば，パックした状態で真空凍結乾燥機へ回すこともできる。



座ふとん用圧縮袋の例

#### 3-1. 用意するもの

- ・座布団用圧縮袋
- ・掃除機
- ・水取り紙 (新聞紙)
- ・新聞紙が本に付着するのを防ぐための不織布  
(例. 株式会社 吉田商店 ポリエステル紙 No.12)

※レーヨン紙では薄すぎてくっつくことがあるので，薄めのポリエステル紙を使用するとよい

#### 3-2. 作業手順

①新聞紙，不織布を本のサイズに合わせて切る (2-2. 作業手順①～⑤の写真を参照)  
(本の上下よりも1cm程度長めに切る)

②新聞紙の上に「不織布」，「本」の順に置く

③不織布で本を巻く

④さらに新聞紙でくるむ

※不織布は薄いので重なりは気にならないが，新聞紙の重なりによって出来る段差が本と本を重ねた面に当たらないように注意する。このため，一番外側となる上下の本では，新聞紙の段差を外側にしてくるみ，内側に重ねる本では，二つ折りの新聞紙の間に本を挟んだ状態にする。

⑤新聞紙にくるんだ本を袋に入れる

⑥袋のチャックを閉じる



⑦袋の弁から掃除機のノズルを入れる（布団圧縮袋の説明に従う）



⑧掃除機のスイッチを入れ吸引する

（ノズルごと弁を押さえ、ノズルの先を内容物に付けて吸引する）



⑨吸引により袋が内容物に張り付いたら、掃除機のスイッチを切らずにノズルを引き抜く



⑩速やかに弁のシワを伸ばし、チャックを留める



⑪1回目のパッキング終了（2回目以降の工程は2-3. 注意事項参照）



## **Examination of the Squelch-drying Technique to Restore Wet Paper Documents Affected by Tsunami**

Yuko ONODERA, Yoshinori SATO, Hiromi TANIMURA\*, Chie SANNO,  
Tomoko KOTAJIMA, Mikiko HAYASHI and Rika KIGAWA

When paper documents are affected by water damage, such as flood and tsunami, it is thought that some microorganisms grow rapidly and cause biological deterioration. As a way to restore wet paper documents, there are some approaches such as air-drying and freeze-drying. In the present study, the squelch-drying technique using books experimentally immersed in salt water was examined to assess the applicability of this method to wet paper documents affected by tsunami.

The squelch-drying technique used in this study consisted of the following three steps: 1. cutting polyester sheets and newspaper according to the size of books; 2. wrapping each book with a layer of polyester sheet and some newspaper, and putting it into a plastic bag; 3. sealing the bag with a heat-sealer using a vacuum pump or a vacuum cleaner. As a result, the squelch-drying technique could significantly reduce crinkles and wavy state of the paper of the books, which is often observed with air-dried books. Furthermore, this technique is expected to reduce the residual salts of seawater from the books. However, this technique requires considerable time and labor because it is necessary to repeat the above steps until the books are dry. Also in case of saltwater-soaked documents, longer time is required to reduce the weight of the documents, compared to the cases of documents soaked in distilled water.

Nevertheless, squelch-drying technique can provide a promising way to rescue wet documents where no refrigerator or freeze-drying machine is available at the time of disaster.

---

\*Paper conservator