

# 福島県内バイオマスのエネルギー利用に伴う放射性セシウムの挙動解析

福島大学 共生システム理工学類 教授  
福島大学大学院 共生システム理工学研究科

佐藤 理夫  
菅野 大樹

## 1. はじめに

福島県は面積の7割(97万 ha)が山林の森林資源豊かな県である。農業・畜産も盛んで、多量の有機資源が存在する。東日本大震災により福島第一原子力発電所の事故が起き、放射性物質が広範囲に飛散した。そのため放射性セシウム(以下 Cs)によるバイオマス資源の汚染が懸念されている。県内産の森林資源を使用するには、常に樹木中の放射性セシウム(以下 Cs)について考慮する必要がある。まず、樹木中の放射性 Cs 濃度測定を行った。

## 2. 樹木中の放射性 Cs 濃度

放射性物質降下量<sup>1)</sup>の異なる3つの地域(1万 Bq/m<sup>2</sup>以下で放射線量の増加がほとんどない南会津町、10万~30万 Bq/m<sup>2</sup>の川俣町秋山、60万~100万 Bq/m<sup>2</sup>で計画的避難区域となっている川俣町山木屋)の間伐材を入手し、Cs 濃度を測定した。

### 1) 文部科学省による放射線量等分布マップ

H23.11.5の第4次航空機モニタリング調査結果を引用

<http://ramap.jaea.go.jp/map/>

### 2.1 実験方法

間伐材を高さ約10 cmに切断し、樹皮を剥ぐ。(ここで樹皮とは、力を加えれば比較的容易に剥がれる内樹皮と辺材との境目の形成層までの事とする。)南会津町(スギ)、川俣町秋山地区(スギ)、川俣町山木屋地区(スギ)の各間伐材の直径は約13、15、6 cmであり樹皮の厚さは、約3、3、2 mmであった。樹皮を剥いだ後の表皮を0 cmとし中心に向かって印をつけ、約1 cm刻みで鉋を用い切断した。切断した部位毎に乾燥機(アズワン DOV-450)を使い24 h 乾燥させた。乾燥後ハサミを用いてチップ状にし、ワーリングブレンダー(7010BU)を使い粉碎した。粉碎後 U-8容器に詰め、ゲルマニウム半導体検出器(キャンベラ GC4020)を用い部位毎に Cs 濃度を測定した。

### 2.2 実験結果

Fig.1に各間伐材の Cs 濃度の測定結果を示す。南会津町のスギ間伐材では、樹皮に存在する Cs 濃度が食品の基準値である100 Bq/kg 以下であった。それ以外の部位では検出限界値(17 Bq/kg)以

下であった。川俣町秋山地区のスギの間伐材では、樹皮の Cs 濃度がそれぞれ約750であった。それ以外の部位は100 Bq/kg 以下であった。川俣町山木屋地区の間伐材では、樹皮の Cs 濃度は1800 Bq/kg であった。樹皮を剥がした後の部位の Cs 濃度が100 Bq/kg を超えていた。放射性物質降下量の異なる地域によって間伐材の Cs 濃度は明確な違いがある。放射性物質降下量が高い場所ほど間伐材の Cs 濃度は高い。

Fig.2に Cs 濃度の測定結果から切断部位ごとに Bq を求め、各地区のスギ間伐材中の Cs 含有量割合を算出したものを示す。南会津町では、Cs 含有量割合は樹皮に100%であった。これは樹皮以外で Cs が検出できなかったためである。川俣町秋山地区では樹皮に約7割の Cs が含まれていた。川俣町山木屋地区のスギ間伐材では Cs 含有量割合が樹皮に54%、0-1 cmに23%、1-2 cmに23%であった。他の間伐材と比べ直径が細く、樹皮に含まれる Cs 含有量割合が低い。

放射性物質降下量が違っていても、全ての地域において Cs 濃度は樹皮が1番高い。しかし間伐材中の Cs 含有量割合は、直径の太さにより変化する。したがって、県内産の樹木を取り扱うには放射性降下物質量、Cs の実測濃度、直径に注意する必要がある。

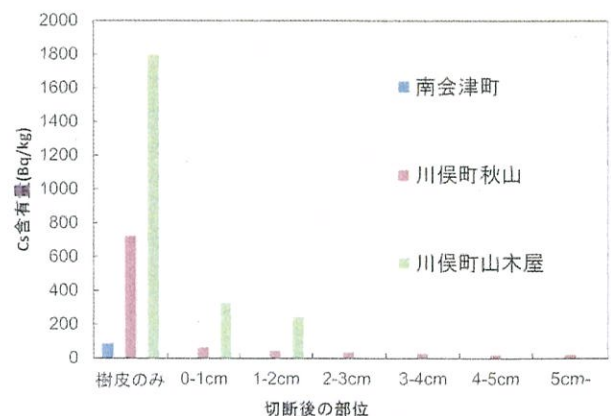


Fig.1 間伐材の各部位の Cs 含有量

※南会津町の樹皮以外の部位は ND であった。  
※山木屋の間伐材は直径6 cm のため1 cm~中心までを測定し、1-2 cm の位置にプロットした。



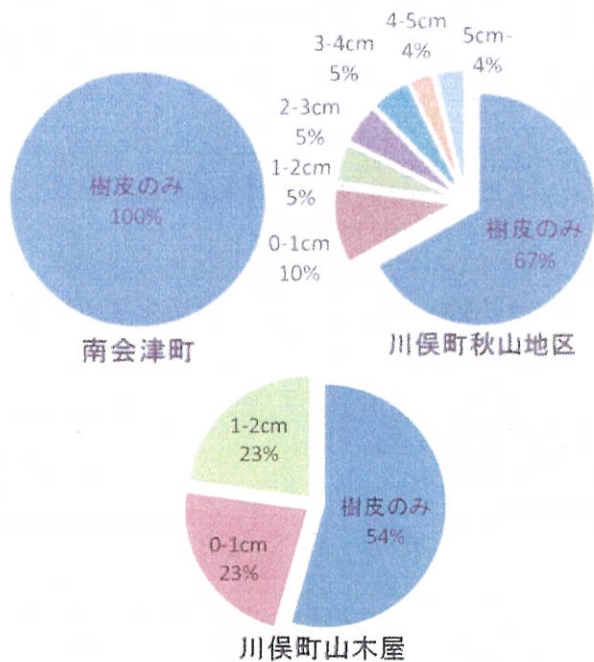


Fig.2 各地区のスギ樹皮の Cs 含有量割合

### 3. 樹種による放射性 Cs 濃度の差

川俣町秋山(放射性物質降下量10万~30万 Bq/m<sup>2</sup>)のコナラ間伐材を入手し2.1と同様に測定し、スギ間伐材(2.1の間伐材)と比較を行った。スギとコナラは同じ山に生えていたものであり、木と木の間隔は同程度である。樹種による差が観察できると考える。

#### 3.1 比較結果

Fig.3に川俣町秋山地区のスギ、コナラの間伐材の Cs 含有量を示す。スギとコナラの間伐材では、樹皮の Cs 濃度がそれぞれ約750、1200 Bq/kg であった。それ以外の部位は100 Bq/kg 以下であった。コナラ樹皮の Cs 含有量割合がスギ樹皮に比べ高い。これはコナラ樹皮がスギ樹皮よりも凹凸があること、厚いこと、成長時に剥がれにくいことが原因と考えられる。Fig.4から樹皮を除くことでスギは70%近く、コナラは84%の Cs を取り除けることを確認した。

川俣町秋山地区のスギ、コナラ間伐材において全重量に対する樹皮の重量はそれぞれ約8%、18%であった。

福島県内に多く存在するスギも、身近な広葉樹であり炭の原料となってきたコナラも、樹皮を除けば放射性 Cs 量は大幅に低減する。エネルギー利用する際には樹皮を除くことが重要である。

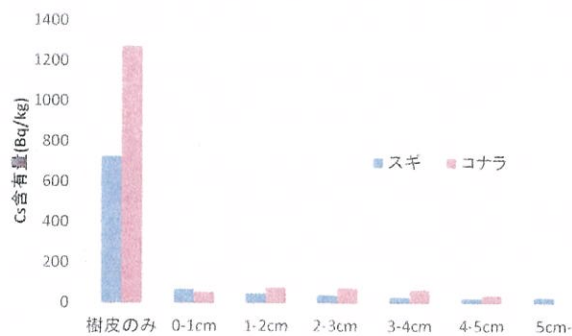


Fig.3 川俣秋山地区・間伐材の各部位の Cs 含有量

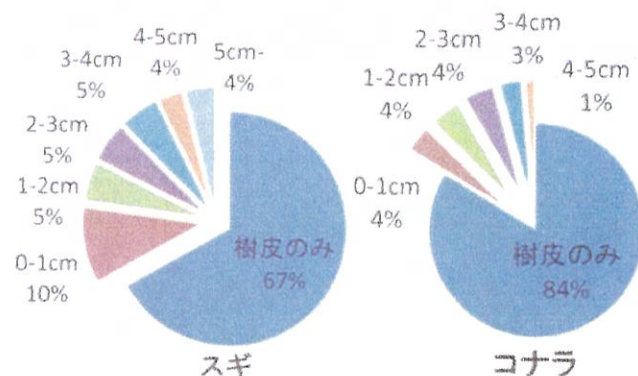


Fig.4 スギとコナラの Cs 含有量割合

### 4. 樹皮処分方法の検討

県内の樹皮には Cs が存在することが、本研究をはじめ様々な機関での測定で明らかになっている。震災前は焼却処分や燃料としての活用がされてきたが、現在は処分が問題となっている。樹皮や端材などを焼却炉で高温処理した場合大幅な減容化はできるが、Cs が焼却灰に高濃度に濃縮する問題と揮発成分の Cs が飛散する事が懸念される。処理温度を下げることで、飛散の懸念が払拭できるのではないかと考えた。

#### 4.1 重量残渣率測定

樹皮(南会津町)を 100℃に設定した乾燥機(アズワン DOV-450)で 24 時間以上十分に乾燥させたものを使用した。温度を一定に保つため電気炉(光洋サーモシステム KBF794N1)内ですぼ(外径:8.8 cm、高さ:7.2 cm)に約 30 g の乾燥樹皮を詰め電気炉の昇温速度を約 10 °C/分とし、設定温度に達してからの保持時間を変化させた。処理後の残渣物重量を求めた。残渣物重量を樹皮重量で割ったものを重量残渣率とした。薪ストーブを使用し樹皮を灰にしたものと電気炉の熱処理でできた残渣物を蛍光 X 線分析(XRF)で比較した。

#### 4.2 重量残渣率実験結果

Fig.5に300℃~900℃まで設定温度を変化させ、保持時間ごとの重量残渣率を示す。600℃以下で処理時間が短い場合は、黒色に見え炭が残っているものと思われた。8時間処理を行った場合、300℃では炭が多量に残るが、400℃~600℃の低温では900℃と同じ重量残渣率に収束し炭も残らなかった。酸素の供給が少ない雰囲気では長時間処理を行うことにより、400℃という低温を保ったまま、燃焼させた時と同程度の残渣量とすることができる。

Fig.6に3地域のスギの残渣物の蛍光X線分析の結果を示す。どの地域においても処理残渣物にはカルシウムが多量に含まれ、次にカリウム、リンが含まれていた。同じ樹種であればどの地域でも残渣物に大きな差異はない。またFig.7に400℃、600℃、900℃の蛍光X線分析結果を示す。温度の上昇に伴いカリウムが減少している。同じ樹皮を小型の薪ストーブで燃焼させた灰もXRF測定を行った。燃焼中の温度は800~900℃であり、XRF結果はFig.7の900℃処理のものと同程度であった。Csと同じ属のカリウムが減少していること、酸化Csと炭酸Csは600℃程度で分解する事、Csの沸点は700℃程度である事から、高温ではCsの飛散が懸念される。

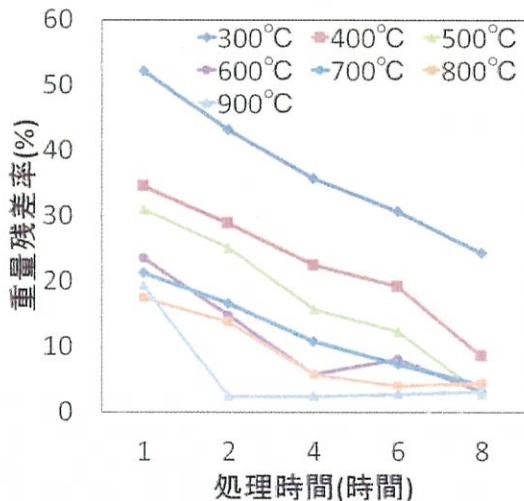


Fig.5 処理温度・時間の違いによる残渣率変化

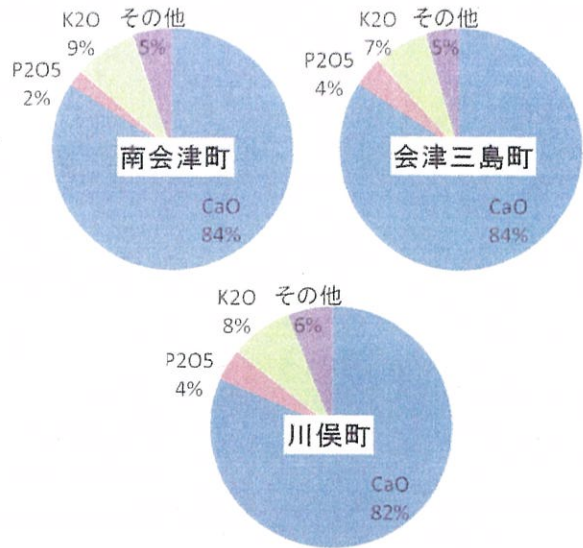


Fig.6 各地域のスギ 600℃処理後の残渣のXRF結果

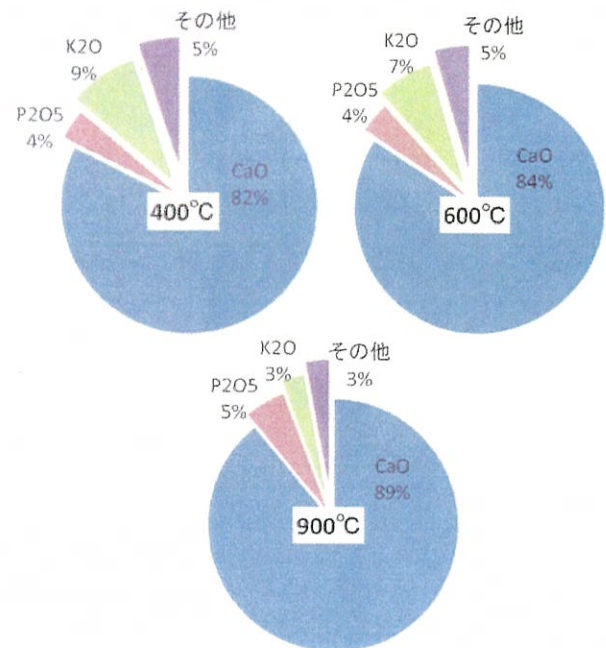


Fig.7 会津三島町のスギ 処理温度毎の残渣のXRF結果

#### 4.3 Cs 残存率測定

樹皮(川俣町秋山地区、1000~2000 Bq/kg)を100℃に設定した乾燥機(アズワン DOV-450)で24時間以上充分に乾燥させたものを使用した。樹皮中のCs量を試験毎にNaIシンチレーション(ATOMTEX AT1320A)で測定してから行った。電気炉内で、るつぼ(外径:14 cm、高さ:11.8 cm)に約100 gの乾燥樹皮を詰め、電気炉の昇温速度を30℃/分とし、処理温度を変化させた。処理後



の残渣物中の Cs 濃度をゲルマニウム半導体検出器(キャンベラ GC4020)で測定した。測定した樹皮、残渣物の Cs 濃度から Bq を算出し、残渣物 Cs(Bq) を樹皮中 Cs(Bq) で割ったものを Cs 残存率とした。

#### 4.4 Cs 残存率実験結果

Fig.8に各温度における Cs 残存率を示す。カリウムが減少するという4.2の実験結果から予想した通り、処理温度の上昇に伴い Cs の残存率は低下した。600℃でも Cs の残存率に影響することから、Cs の飛散をさせないためには、400℃付近の低い温度を保つ必要がある。

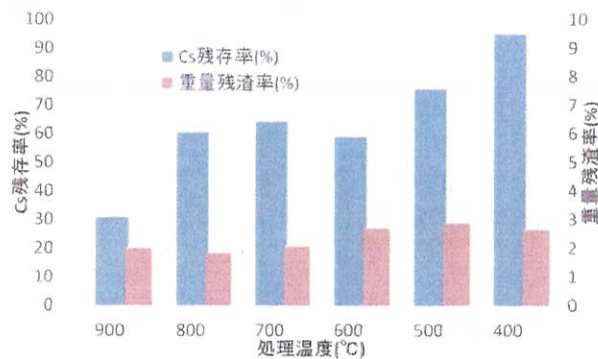


Fig.8 各温度の Cs 残存率

#### 5. メタン発酵残渣に関する情報収集

メタン発酵は汚泥・畜産廃棄物・食物残渣などの含水率の高いバイオマス資源を活用できる有望な技術である。常温付近での発酵であるため、発生するガスに放射性 Cs が含まれる心配はない。発酵後に残る残渣を液肥や堆肥として使い、ミネラルを農地などに循環させることが望ましい。福島県内でメタン発酵を行った場合、原料に含まれる Cs が残渣に残存することが懸念される。

事業系生ごみと農業残渣を用いてメタン発酵を行うことを計画している団体にヒアリングし、想定される原料に含まれる Cs は ND (10 Bq/kg 以下) であるという情報を得た。中通りで祭用の松明を作るために刈り取ったカヤの Cs 量測定を2012年より行っているが、大半が ND または 50 Bq/kg 以下である。土を多量に付着させない限り、植物性の原料の Cs 汚染は心配ないと思われる。

農業者と連携して小規模にメタン発酵を行っている団体と意見交換した。Cs が検出されるために出荷を見合わせているような原料も混入しているが、液肥となる液体部分からは Cs が検出されないとのことであった。残渣中の固形分は入手できなかったが、固形分中への Cs 濃縮が予想される。水溶性の Cs が原料に含まれていたとしても、土壌由来で微量の混入は避けられない粘土質に、長期間

を要する発酵中に、強く吸着されていくものと考えられる。

#### 6. おわりに

福島県内の木質バイオマス資源をエネルギーとして活用することを想定し、放射性 Cs 汚染状況や樹皮の処分方法の検討を行った。Cs は樹皮に多く、木材中にはほとんど含まれていないこと、樹種による差があることを、明らかにした。600℃程度の比較的低温でも、樹皮からの Cs の揮発・飛散が観測された。この温度は土壌に吸着した Cs が揮発する温度よりもかなり低い。樹皮など Cs 汚染があるバイオマスを減容化する際には、飛灰を確実に補足できる高性能設備で集中的に行う・400℃程度以下の低温での処理を行う、などで、Cs の飛散防止を図る必要がある。

メタン発酵についても検討を行い、情報収集を行った。現時点で原料となるバイオマス資源の Cs 汚染は少ないようである。発酵残渣として多量に発生する液体部分からは、Cs が検出されないとのことである。メタン発酵では Cs の存在を過度に心配する必要はない。