

# 表面風化木材の表面組織における セルロース鎖の引張挙動解析

名古屋大学大学院生命農学研究科

山崎 真理子、○浅野 太智、小島 瑛里奈

今枝 紘樹、佐々木 康寿

株式会社中村建築事務所

住岡 雅将

あいち産業科学技術総合センター 共同研究支援部

杉本 貴紀

# 背景：木材の風化

数年間外部で使用したウッドデッキ



## 木材の構成成分が変化

### 巨視的变化

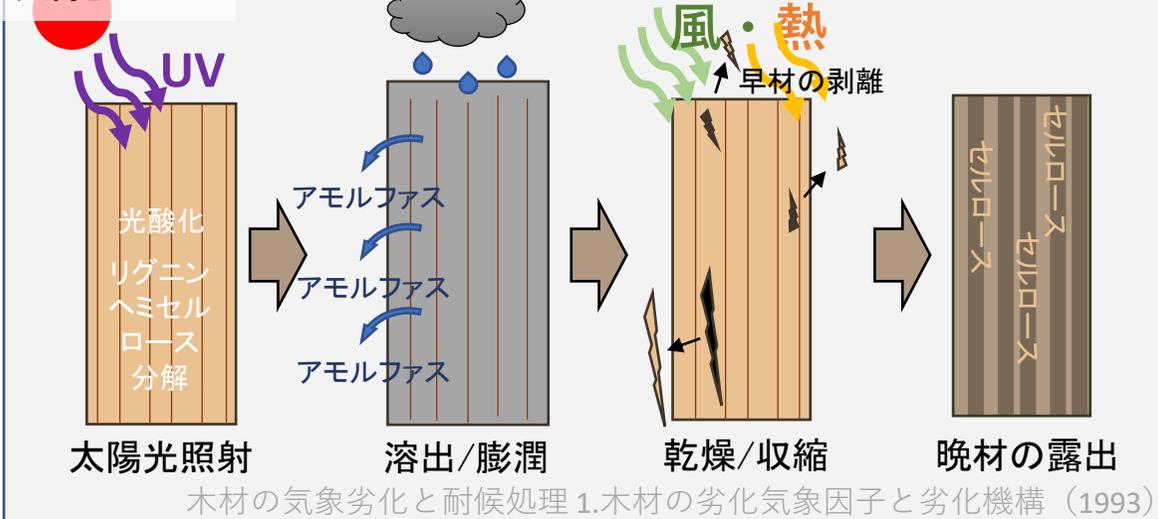
- ・ 組織の色の変化
- ・ 早材の剥離による凹凸化

### 科学的变化

- ・ アモルファス成分の溶出
- ・ セルロース鎖の弱体化

他

## 風化とは



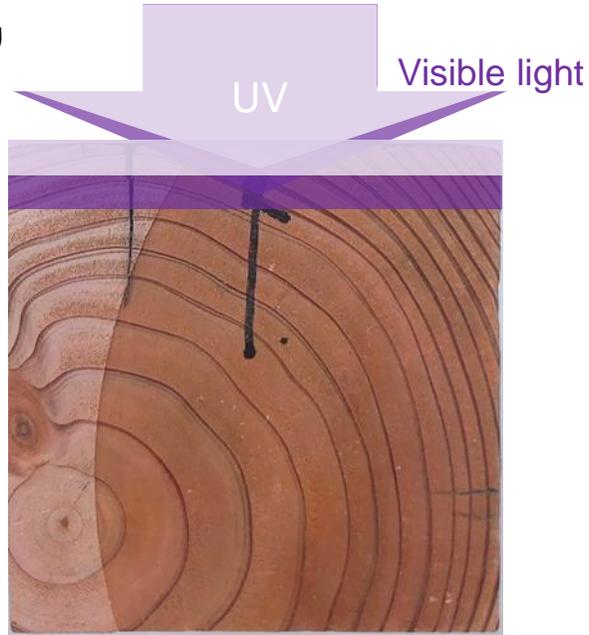
風化作用により  
木材の力学性能  
が変化

# 研究目的

ベール・ランベルト則より  
 $\log_{10}(I_0/I) = \epsilon \theta \chi$



Plane View



Cross section

- 太陽光線が10%に減衰する深さ  
紫外線： 約90  $\mu\text{m}$   
可視光線： 約150  $\mu\text{m}$
- 早材薄片の風化速度：700  $\mu\text{m}/\text{年}$   
晩材は早材の1/4~1/5程度
- 光酸化による連鎖反応は一定深さまで侵攻

## 木材の風化は

- 主に早材に作用する
- 深さ数mmの範囲で留まる
- 侵食程度に勾配がある

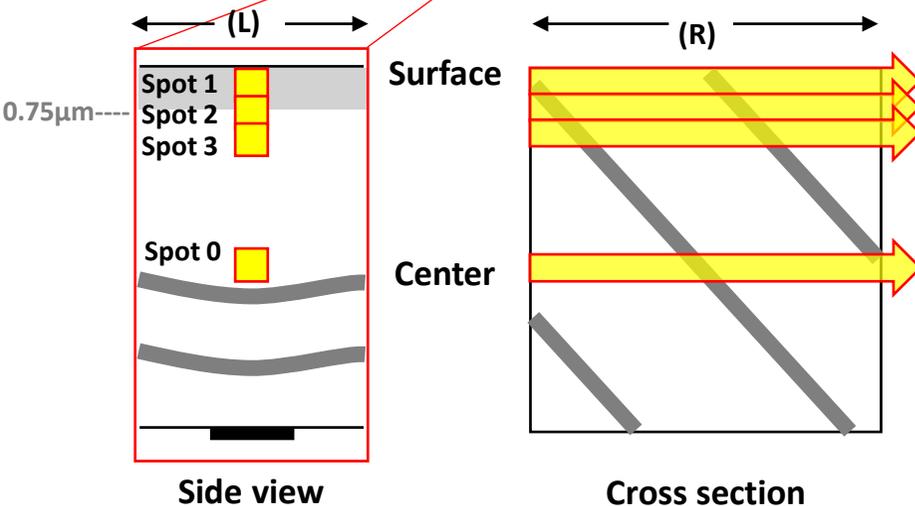
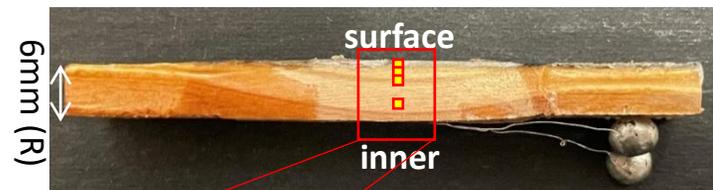
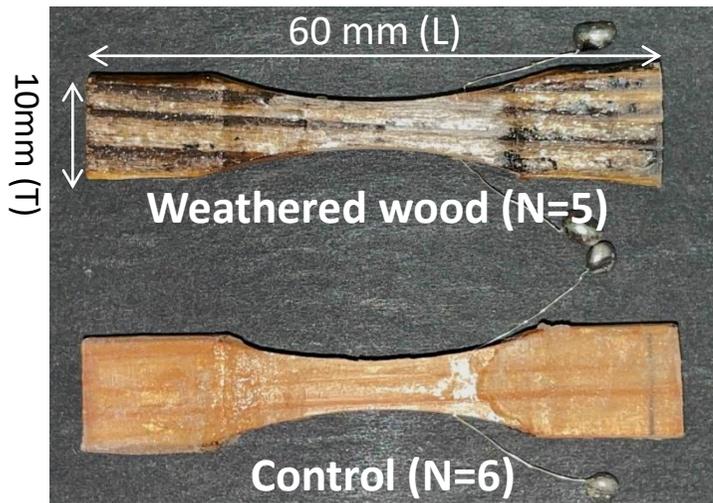
## 風化材の力学特性の深さ方向分布

本研究では

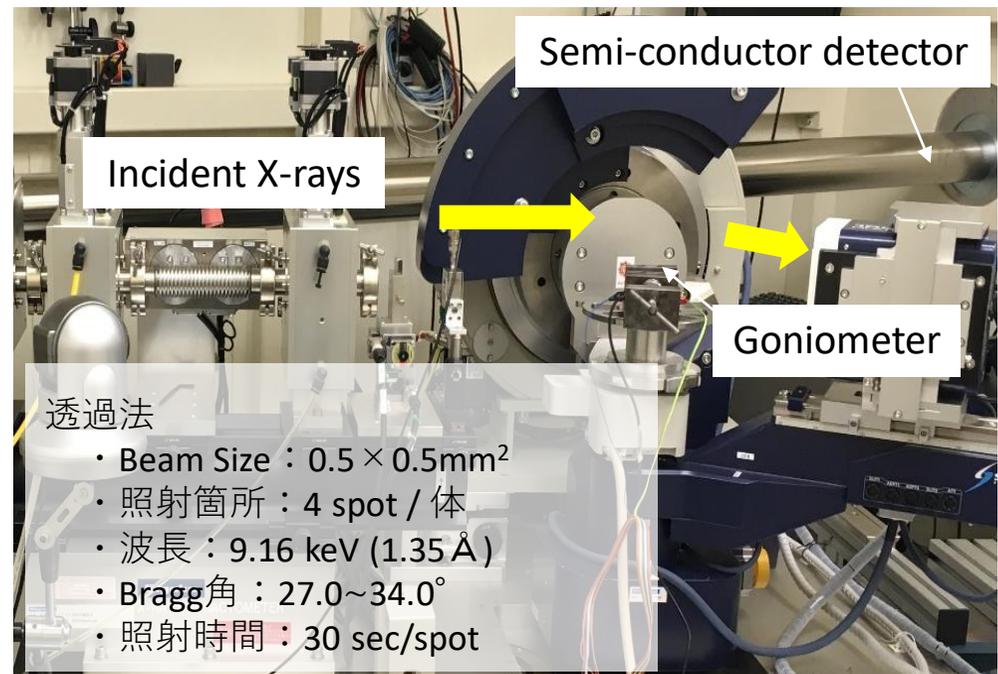
## 表面が風化した木材の 引張挙動を解析

- 表層部のセルロース鎖の引張性能
- 風化木材と健全材の比較
- 深さ方向における風化の影響を観察

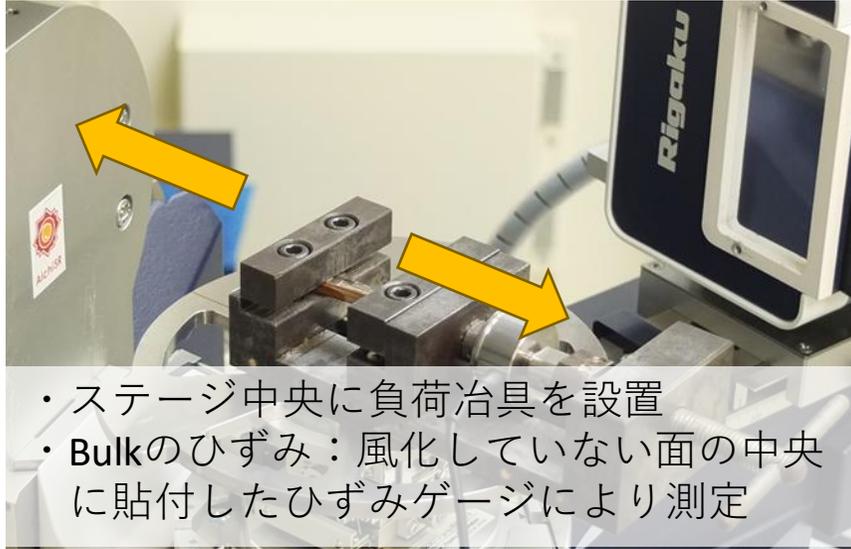
# 試験方法：試験片とXRD測定



供試体：名古屋市中区都心部で  
3年間屋外使用されたウッドデッキ  
樹種：スギ *Cryptomeria japonica*  
試験体寸法：60 mm (L) × 10 mm × 6 mm  
四方柱  
試験体数：風化木材 5体  
健全材 5体

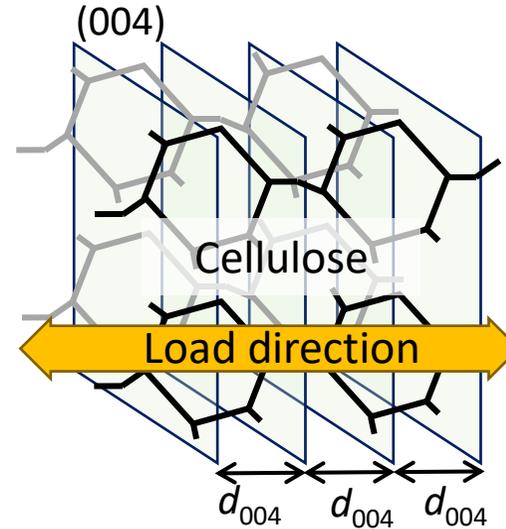


# 試験方法：引張試験と解析項目

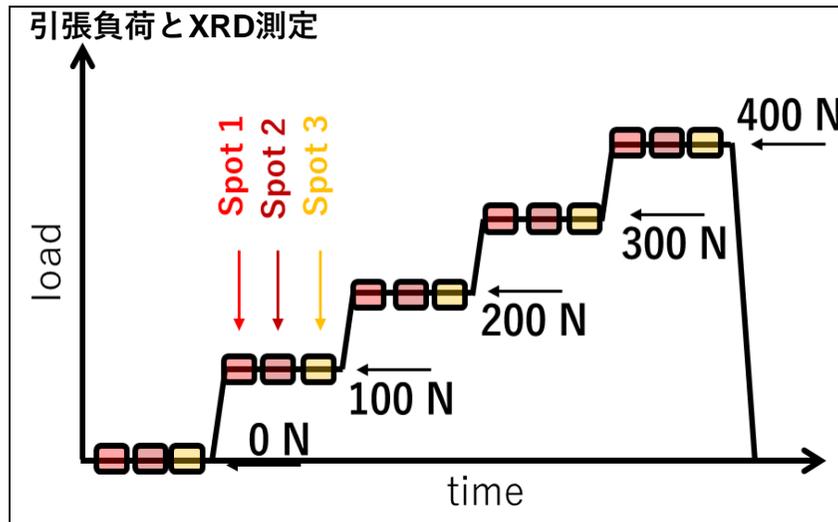


- ・ステージ中央に負荷冶具を設置
- ・Bulkのひずみ：風化していない面の中央に貼付したひずみゲージにより測定

セルロース004面の結晶間隔からセルロース鎖のひずみ $\varepsilon_C$ を算出



$$\varepsilon_C = \frac{d_{004(P)} - d_{004(0)}}{d_{004(0)}}$$



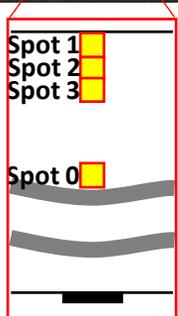
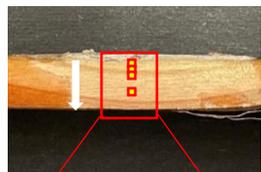
解析項目

- ・2D回折図形および回折強度曲線
- ・セルロースの荷重－ひずみ曲線
- ・最大ひずみ

→風化が木材の深さ方向に及ぼす影響

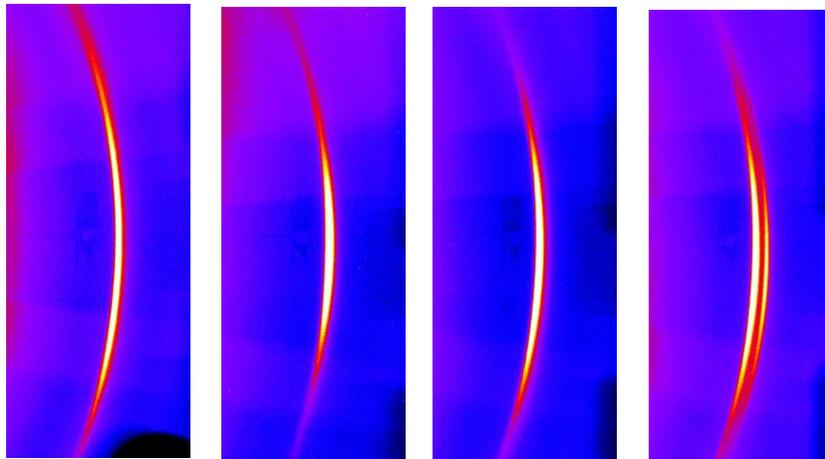
- ・無負荷から400 Nに至るまで5段階
- ・1段階毎に3回XRD測定，除荷後にspot 0を試験

# 結果：2D回折図形および回折強度曲線



Side view

## Weathered wood



Spot 1

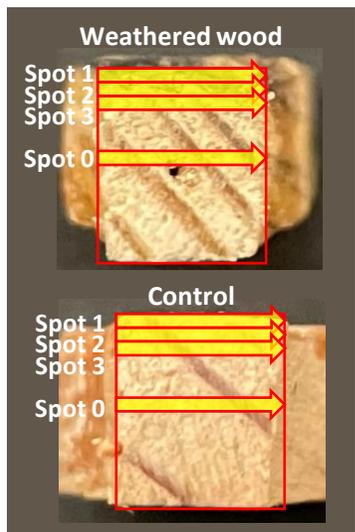
Spot 2

Spot 3

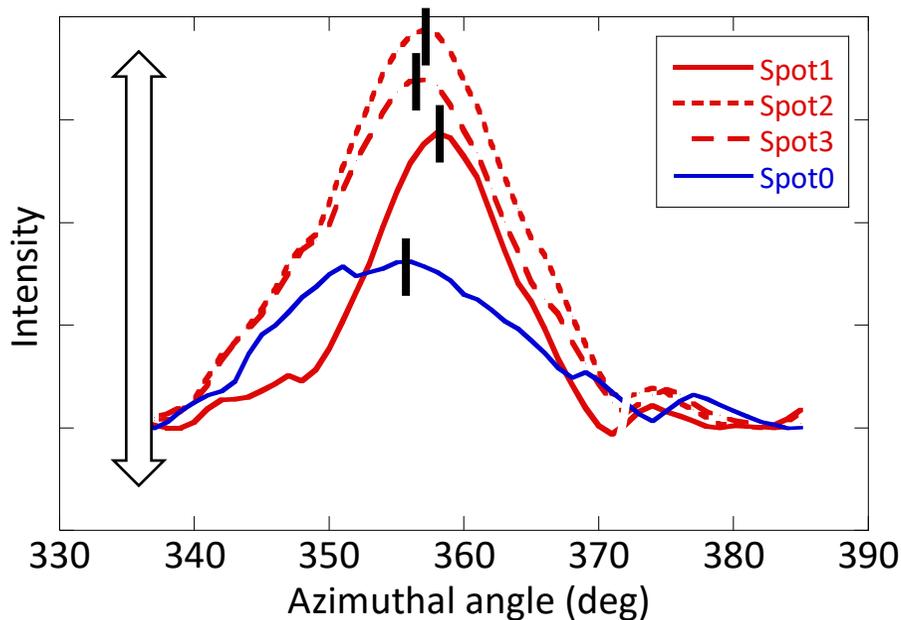
Spot 0

## 2D回折図形

- Spot 1~3では顕著な違い無し
- Spot 0はSpot 1~3とは異なり円弧を2本持つ場合があった回折強度が高い部分を解析



Cross section

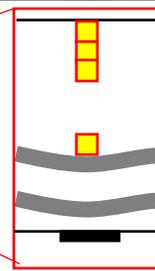
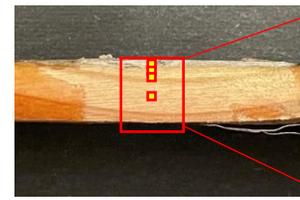
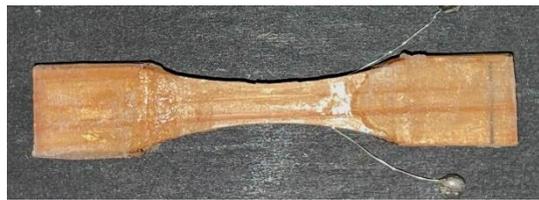


## 方位角回折強度曲線

- Spot 1~3では360° 付近に明確なピーク
- Spot 0では二本の曲線350~360° 付近に広いピーク

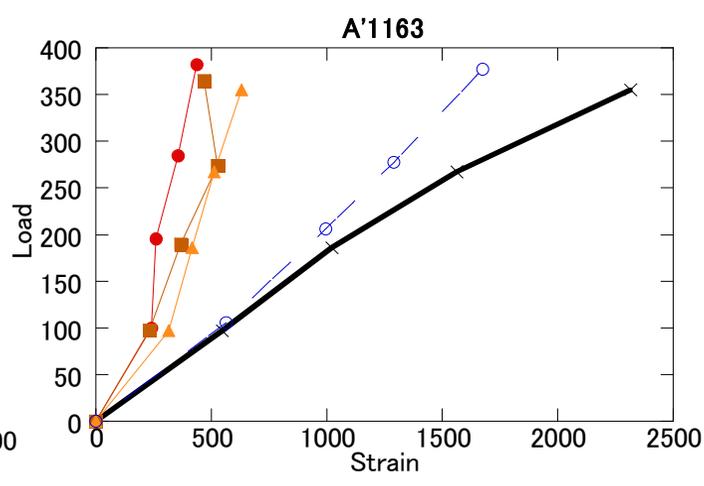
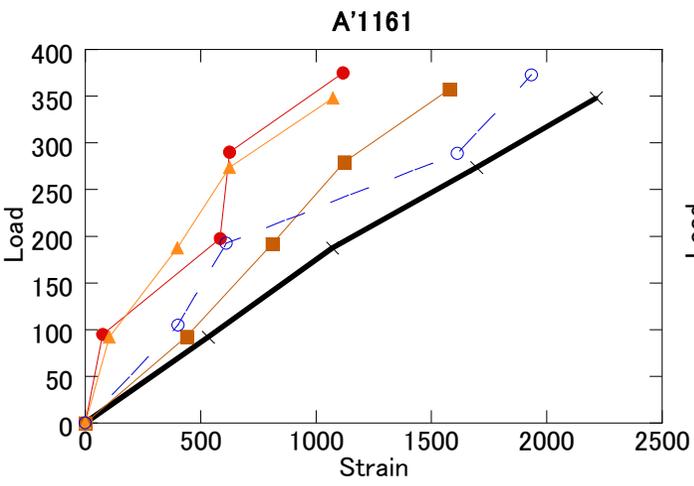
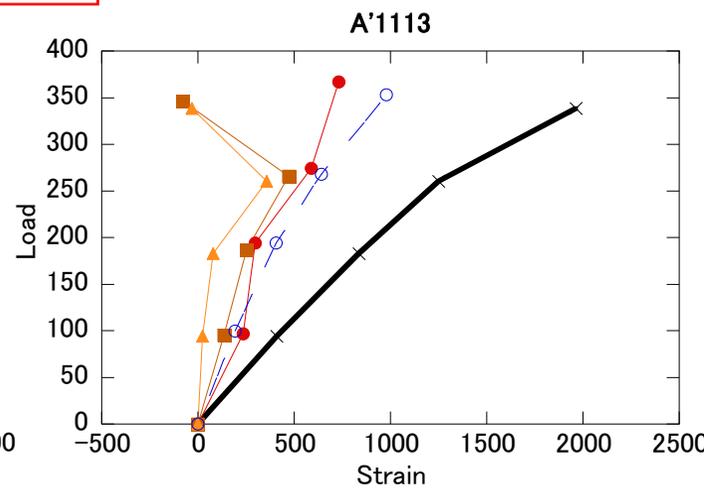
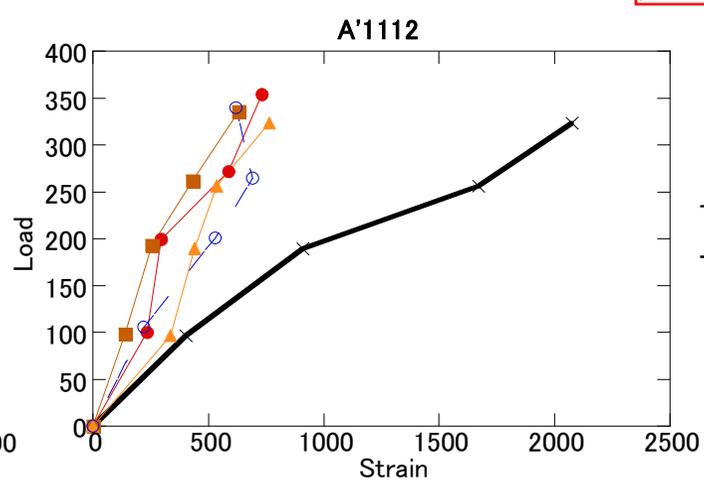
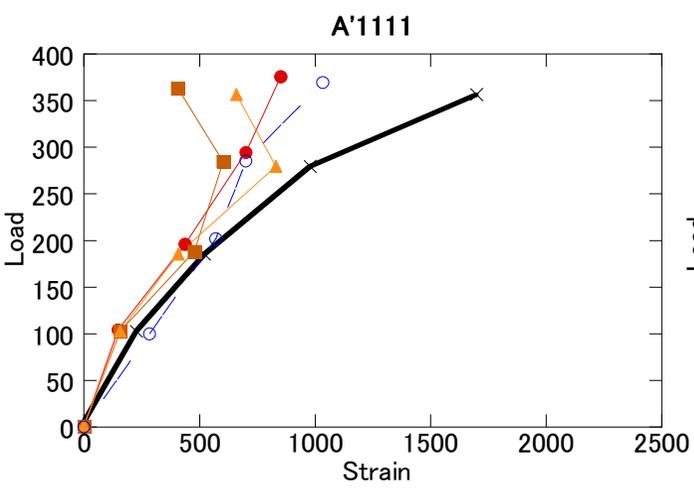
# 結果：荷重ひずみ曲線

## 健全材



- Spot 1 : : : 0~0.5mm
- Spot 2 : : : 0.5~1.0mm
- Spot 3 : : : 1~1.5mm
- Spot 0 : : : 3~3.5mm

BULK : : : under edge of specimen

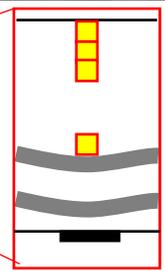
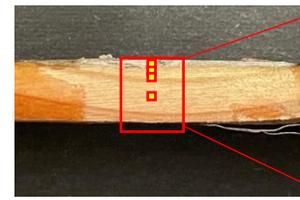


全試験体の全Spotで  
セルロースが伸長

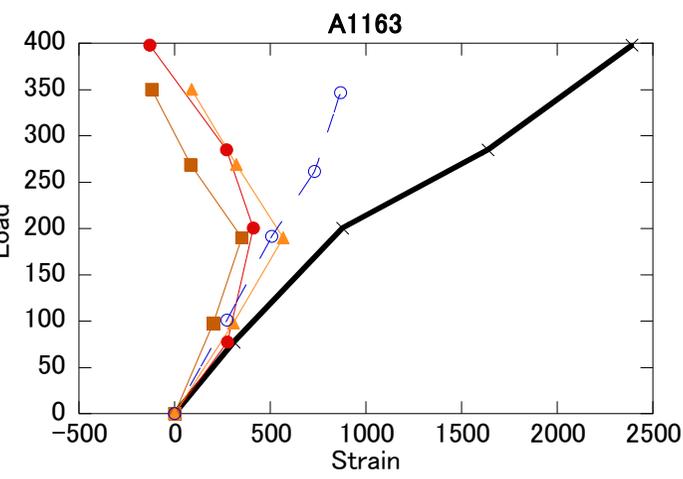
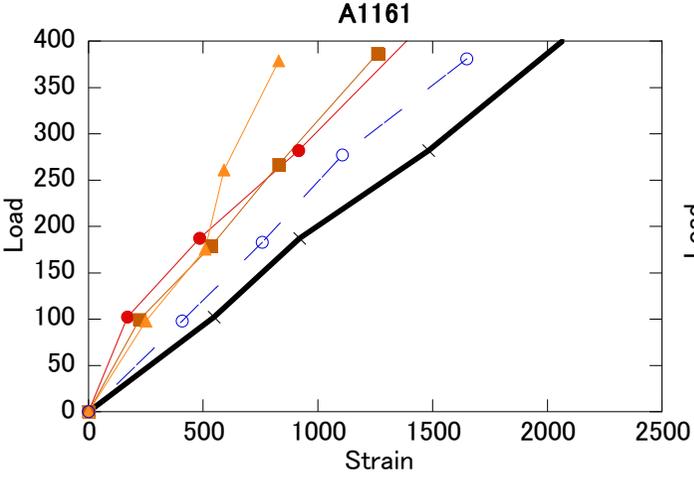
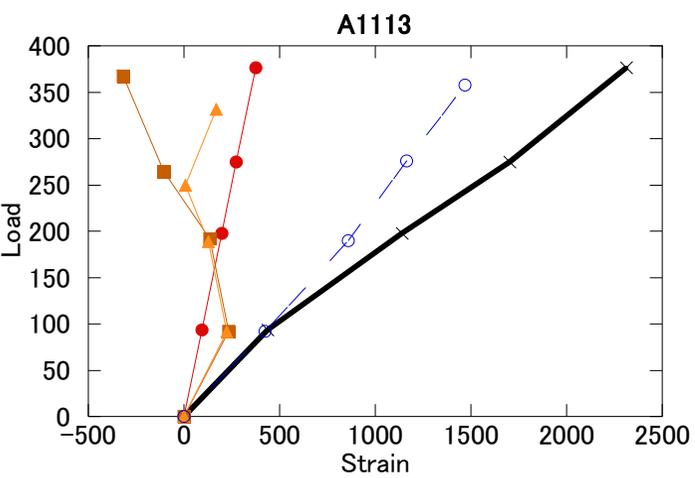
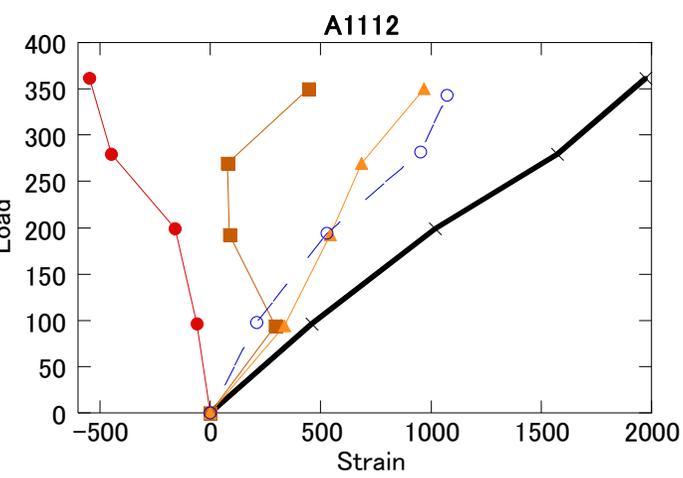
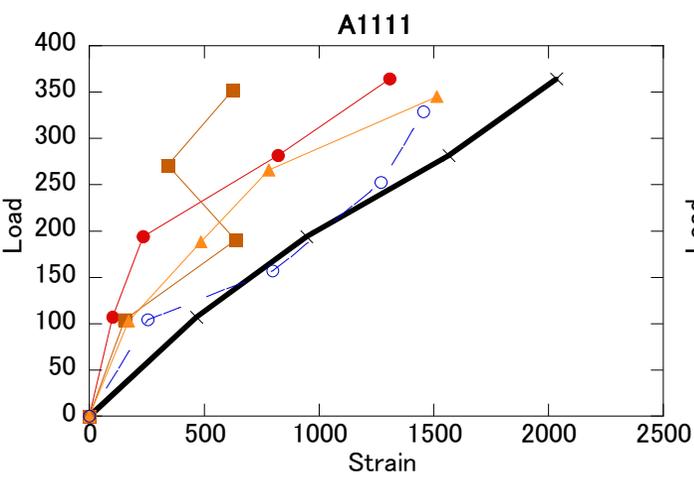
- ・ BULKに比べ小さいひずみ
- ・ Spot1~3がSpot0に比べ小さい場合有り

# 結果：荷重ひずみ曲線

## 風化木材



- Spot 1 : : : 0~0.5mm
- Spot 2 : : : 0.5~1.0mm
- Spot 3 : : : 1~1.5mm
- Spot 0 : : : 3~3.5mm
- BULK : : : under edge of specimen

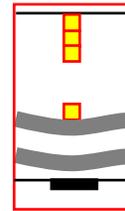


**Spot 1 ~ 3のうち一部の挙動にはばらつき有り**

- ・ 伸長, わずかな伸長, 圧縮の三種の挙動
- ・ Spot0は全て伸長

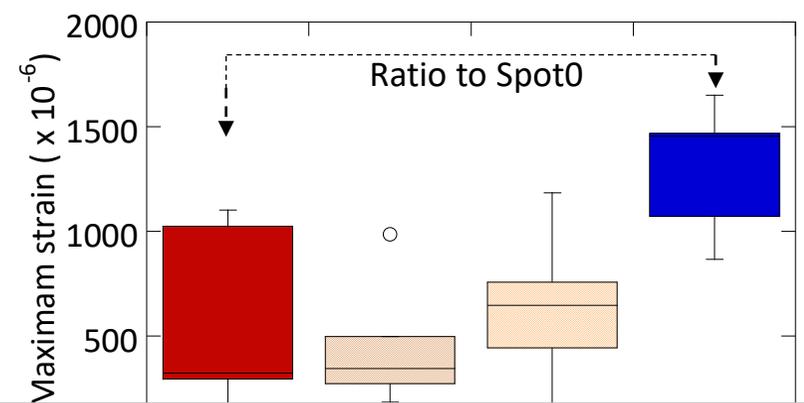
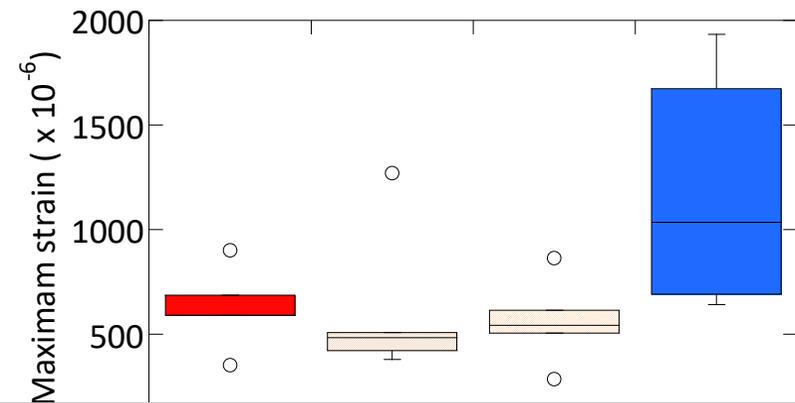
# 結果：セルロースの最大ひずみ比較

## 健全材



Spot 1 . . . 0~0.5mm  
Spot 2 . . . 0.5~1.0mm  
Spot 3 . . . 1~1.5mm  
Spot 0 . . . 3~3.5mm  
BULK . . . underedge

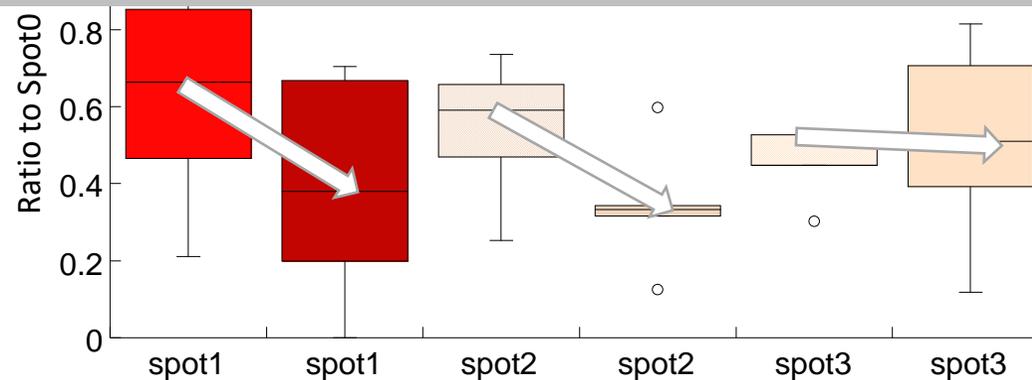
## 風化木材

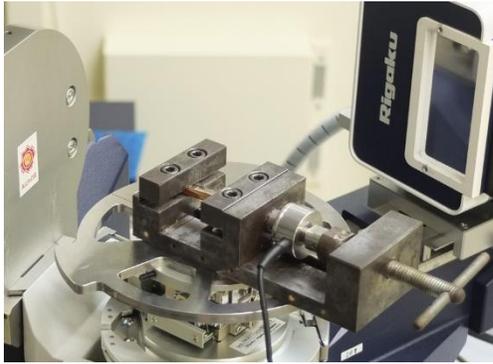


風化木材の最大ひずみはSpot1, Spot2, Spot3で減少

・ 平均値の低下 ・ 最小値の低下

風化が木材の力学性能に影響を与える可能性を示唆





本研究では、風化木材のセルロース鎖の力学挙動における深さ方向分布を調べるため、3年間屋外使用されたスギ材を対象に、引張荷重作用下でセルロース(004)面のXRD測定を行った。

得られた引張荷重-引張ひずみ曲線について、次の知見を得た。

① 引張作用下の健全材では、表面から内部のほとんどの測定点においてセルロース鎖が伸長し、線形的な引張挙動を示した。

② これに対して、風化木材では表面から内部にかけてセルロース鎖の引張挙動に違いがあった。

Spot 1 (表面から0~0.5mm) 伸長 (40%) , わずかな伸長 (40%) , 圧縮 (20%)

Spot 2 (表面から0.5~1.0mm) 伸長 (40%) , わずかな伸長 (20%) , 圧縮 (40%)

Spot 3 (表面から1.0~1.5mm) 伸長 (80%) , わずかな伸長 (20%) , 圧縮 (0%)

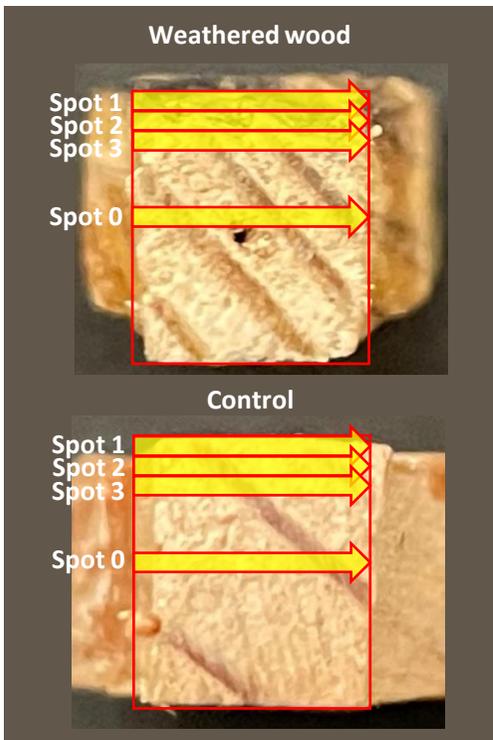
Spot 0 (表面から3~3.5mm) 伸長 (100%) , わずかな伸長 (0%) , 圧縮 (0%)

③ 最大ひずみに注目すると、Spot1, Spot2, Spot3の値とSpot0の値に差が見られた。また、その程度は風化木材でより顕著であった。

Spot3は目視および顕微鏡観察では健全部との違いがみられない

部分だが、セルロース鎖の引張挙動には風化の影響がみられた。

風化が木材表面部の力学性能に影響を及ぼす可能性を示唆



Cross section