

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450253

研究課題名(和文)屋外の劣化環境因子に基づく木材の経年変化シミュレーション

研究課題名(英文) Aging simulation of the wood surfaces based on the environmental parameters at outdoor

研究代表者

木口 実 (Kiguchi, Makoto)

国立研究開発法人 森林総合研究所・研究コーディネータ・木質バイオマス利用研究担当

研究者番号：50353660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：つくば市における木材の暴露試験と試験体周辺の微気象データ及びアメダスデータにより、木材表面の経時的な色変化を気象因子を説明変数とする重回帰式で表すことに成功した。また、暴露初期の急激な退色とそれ以降の濃色化の時期を分けて回帰式を用意することにより、より実際に近い変色をシミュレーションすることができた。

研究成果の概要(英文)：This study succeeded in expressing the time-dependent color change of the wood surfaces with the multiple regression equation which assumed climatic factors as explanation variables by relationship between outdoor exposure test of wood and micro climatic data at the wood test specimens and AMeDAS data in Tsukuba city. In addition, we were able to simulate more really near color change of the wood surfaces by preparing a regression equation which divides the outdoor exposure test at rapidly fading of the early period and subsequent deep color period.

研究分野：木材科学 木質材料の耐久性

キーワード：木材 屋外暴露 耐候性 変色 アメダス 重回帰 劣化シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

わが国の森林の蓄積量が過去最大を更新しているが、住宅着工件数の減少により木材の使用量が頭打ちになり、新しい木材の需要先を開拓する必要がある。わが国では、これまで屋外での木材の使用が非常に少なく、これは屋外における木材表面の急激な劣化、変色が需要を妨げる要因の一つであった。そのため、木材の耐候性、耐久性を向上させると共に、屋外に設置した木材がどのような変色、劣化をするかシミュレーションできれば、木材の使い方や処理方法、木材を守るための設計や施工が可能となるため、このような木材の経年変化シミュレーション技術が求められている。

2. 研究の目的

屋外で使用する木材は他材料に比べて経年変化が大ききことが問題となっているが、これまでこれを予測する手段が無かった。屋外における木材の劣化因子と木材の経年変化との相関が得られれば、劣化因子を入力することにより経年変化した木材表面をシミュレーションできる可能性がある。また、木材の経年劣化がグラフィック化できれば、木材の劣化予測にもなり設計の変更や表面処理等を施すことにより木材の耐候性、耐久性を大幅に向上できる。本研究では、気象劣化因子を入力することによって、屋外で使用する木材の表面劣化を可視化するシステムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 木材の暴露試験

暴露木材試片の調製では、樹種はスギ、ヒノキを用い、木取りとして柾目、板目を用意した。また、熱処理木材も用いた。つくば市の森林総研第二樹木園内暴露において、RC造モデル棟を用いた東西南北各面及び水平面への垂直暴露試験を行った。気象劣化因子の測定は、全天日射量、風向、風速、降水量、分光放射（照射波長）等を用いた。また、データの一部は暴露地から最も近い AMeDAS 観測地点（つくば市長峰）の気象データを使用した。マイクロクライメート（微気象）の測定では、東西南北各面における日射量、気温、相対湿度、雨掛かりなどを測定した。暴露木材表面の経時測定として、色差、表面含水率、カビ発生観察等を行った。

(2) 経時劣化シミュレーション

木材表面の色調を $L^*a^*b^*$ 色空間あるいは YIQ 色空間等を用いて数値化した。次に、暴露試験により得られた微気象データの収集、数値化を行い、数種の気象因子による表面変色との回帰分析を行った。更に、劣化因子の木材表面の色調への説明変数の検討と重回帰分析による数式化を行い、気象データから木材表面の色調を L^*, a^*, b^* で表し、これを気象データによる予測式を作成した。劣化因子データと木材表面データを用いた経年変化可視

化プログラムを導入することによって、気象劣化因子をリアルタイムで木材表面の経時変化に反映できるコンピュータグラフィック化技術を開発した。

4. 研究成果

(1) 回帰分析による木材変色値への数式化
暴露木材色の実際の変化は、ある一定の時期まで増加しその後減少することが本暴露試験にて判明した。そこで、 L^* 値が増加する期間を「暴露期間前期」、減少する期間を「暴露期間後期」と、個別に回帰分析を行った。回帰分析により以下の式が得られた。

$$L^* = At + Br + Cs + D$$

$$a^* = Et + Fr + Gs + H$$

$$b^* = It + Jr + Ks + M$$

（ここで、 L^*, a^*, b^* : 予測色成分値、 A, B, \dots, K, M : 回帰分析によって求められた係数

$t =$ t : 予測日までの累積 日平均気温

$r =$ r : 予測日までの累積 日降水量

$s =$ s : 予測日までの累積 日全天日射量)

回帰分析の説明変数は、つくば市長峰の AMeDAS 情報（累積 日平均気温 t 、累積 日降水量 r 、累積 日合計全天日射量 s ）である。暴露木材色の実測値とその色、回帰分析により求められた回帰式による予測値とその色調の暴露期間における推移を図 1 に示す。

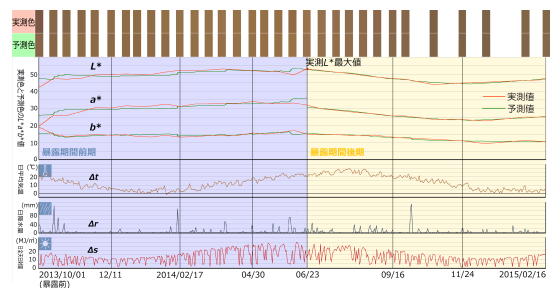


図 1 回帰分析により得られた木材表面色の経年変化シミュレーション結果例

（縦軸は L^*, a^*, b^* 値の実測値と推計値、上部の写真はシミュレーションした材色、横軸は屋外暴露期間）

木材表面色の実測値と回帰式による予測値とを比較したところ、相関性の高い結果が得られた。これにより、AMeDAS データを用いて木材表面色の変色をシミュレーションできる見通しを得た。

(2) 木材表面の経時劣化シミュレーション
暴露試験より得られた、木材の色調と気象データとの関係性を表した計算式より、木材のスキャン画像と累積気温、累積降水量、累積日射量を入力して、木材の色変化シミュレーションを行う手法を提案した。更に、暴露試験において木材表面の気温、降雨量、日射量などを計測することでシミュレーション精度を向上させる必要がある。

(3) 3DCG モデルを使用したシミュレーション
3DCG モデルを用意することで、東西南北各面

の方位、日光の遮蔽率、雨滴の跳ね返り量を算出することができた。これらを基に、任意の建築物の外壁に利用された木材の色変化シミュレーションも可能となった(図2)。Ambient Occlusionの手法により、3DCGモデルの任意の位置から、多量の光線を周囲に均等に発射し、他の面に衝突した光線の数を求めることで、その位置にどの程度外部から日光が当たるのか求めることができる。発射する光線に長さを与え、その長さ以下で他の面に衝突し、かつ衝突した面が垂直面だった光線の数をもとめると、その光線の数によってその位置にどの程度雨滴の跳ね返りがあるか算出することができる。遮蔽率が高い場所では、累積気温、累積日射量を低い値とし、一方雨滴の跳ね返りが多い場所では、累積降水量の値を高い値にすることでシミュレーションでき、これによって建築物の構造を考慮した各部位に使用された木材の色変化シミュレーションが可能となる。3Dモデルを使用したシミュレーション結果では、特3Dモデル下側の木材が、雨滴の跳ね返りの影響により褪色が進んでいる結果が得られた。

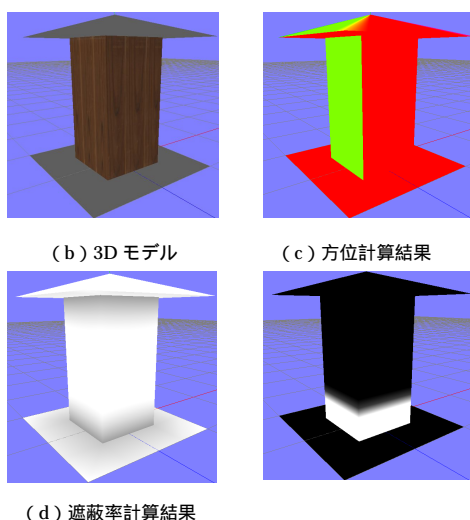


図2 3Dモデルと各種計算結果例

(4) 今後の展開

3DCGモデルで計算された軒の出の違い等による日射の遮蔽や雨がかりの影響において、入力する気象パラメータはシミュレーション結果を見ながら数値を調整している段階である。今後は、暴露試験における木材表面の気温やその周囲の降雨量、日射量、風向、風力などの微気象データ(気象パラメータ)を計測することで、シミュレーション精度を向上させる必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5件)

松永 正弘、片岡 厚、木口 実(他 3名、2,6番目)、超臨界二酸化炭素雰囲気

気下で製造された熱処理木材の評価、木材学会誌、査読有、62巻、2016、1-8
DOI : 10.2488/jwrs.62.1

片岡 厚、石川 敦子、松永 浩史、木口 実(他 5名、1,9番目)、木材保護塗料の耐候性能向上に及ぼす素地粗面化処理の影響、木材保存、査読有、42巻、2016、18-25
DOI : 10.5990/jwpa.42.72

Philip D. EVANS、Makoto KIGUCHI(他 2名、4番目)、The Search for Durable Exterior Clear Coatings for Wood、coatings、査読有、5巻、2015、830-864
DOI : 10.3390/coatings5040830

石川 敦子、片岡 厚、木口 実(他 3名、2,6番目)、塗装木材に関する屋外暴露試験と促進耐候性試験の相関() - L^* , a^* , b^* 値と光沢度の変化 -、木材保存、査読有、40巻、2014、216-224
DOI : 10.5990/jwpa.40.216

石川 敦子、片岡 厚、木口 実(他 3名、2,6番目)、塗装木材に関する屋外暴露試験と促進耐候性試験の相関、木材保存、査読有、40巻、2014、55-63
DOI : 10.5990/jwpa.40.55

[学会発表](計 9件)

石川 敦子、片岡 厚、木口 実(他 4名、2,7番目)、市販木材保護塗料の気象劣化挙動、日本木材学会大会、2016年3月29日、名古屋大学全学教育棟(愛知県・名古屋市)

片岡 厚、木口 実(他 7名、1,9番目)、木材保護塗料の耐候性能に及ぼす粗面化処理の影響(2) - 促進耐候性試験による長期性能評価 -、日本木材学会大会、2016年3月29日、名古屋大学全学教育棟(愛知県・名古屋市)

森谷 友昭、高橋 時市郎、木口 実、片岡 厚(他 8名、1,5,6,7番目)、屋外に暴露した木材の表面色経年変化シミュレーション、日本木材保存協会年次大会、2015年5月26日、メルパルク東京(東京都・港区)

片岡 厚、木口 実(他 7名、1,9番目)、木材保護塗料の耐候性能に及ぼす粗面化処理の影響、日本木材学会大会、2015年3月17日、タワーホール船堀(東京都・江戸川区)

片岡 厚、木口 実(他 7名、1,9番目)、木材保護塗料の塗布量に及ぼす粗面化処理の影響、日本木材学会大会、2015年3

月 17 日、タワーホール船堀（東京都・江戸川区）

石川 敦子、片岡 厚、木口 実（他 3 名、2,6 番目）木材保護塗料に関する屋外暴露試験と 2 種類の促進耐候性試験の比較 -変化傾向の類似性と性能順位-、日本木材学会大会、2015 年 3 月 17 日、タワーホール船堀（東京都・江戸川区）

ISHIKAWA Atsuko、KATAOKA Yutaka、KIGUCHI Makoto（他 4 名、2,6 番目）Natural and accelerated weathering characteristics of wood finished with wood preservative semi-transparent coatings、International Symposium on Wood Science and Technology 2015、2015 年 3 月 16 日、タワーホール船堀（東京都・江戸川区）

MATSUNAGA Masahiro、KATAOKA Yutaka、KIGUCHI Makoto（他 4 名、2,6 番目）、Evaluation of heat-treated wood using supercritical carbon dioxide、International Symposium on Wood Science and Technology 2015、2015 年 3 月 16 日、タワーホール船堀（東京都・江戸川区）

山城 郁乃、片岡 厚、木口 実（他 2 名、3,4 番目）屋外暴露下における木材細胞劣化挙動の可視化、第 20 回日本木材学会九州支部大会、2013 年 9 月 2 日、九州大学箱崎キャンパス（福岡県・福岡市）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木口 実 (KIGUCHI、Makoto)

国立研究開発法人 森林総合研究所・研究コーディネータ・木質バイオマス利用研究担当

研究者番号：50353660

(2) 研究分担者

高橋 時市郎 (TAKAHASHI、Tokiichiro)

東京電機大学・未来科学部情報メディア学科・教授

研究者番号：50366390

片岡 厚 (KATAOKA、Yutaka)

国立研究開発法人 森林総合研究所・木材改質研究領域・室長

研究者番号：80353639

森谷 友昭 (MORIYA、Tomoaki)

東京電機大学・未来科学部情報メディア学科・助教

研究者番号：90589805