平成27年度林野庁補正助成事業

平成27年度地域材利用拡大緊急対策事業（木材の新規用途の導入促進）のうち地域の特性に応じた木質部材・工法の開発・普及等支援事業

「大規模木造建築物における木質外構部材の耐候性向上・維持管理技術の確立」

成果報告書

平成29年2月

公益社団法人日本木材保存協会

はじめに

大型建造物や非住宅建築物等への木材の利活用は、「公共建築物木材利用促進法」を背景に、東京オリンピック・パラリンピックの新国立競技場での大規模な木材利用や木材保存・木材難燃化技術の大きな進展等と相まって、更なる普及が見込まれています。

木材利用拡大の社会的要請に対しては、地域材の利用をより一層進める必要があり、特にこれまで数々の理由から利用が遅れていた外構的利用を拡大することが必須といえます。木材の外構的利用は人々に安らぎを与え、都市空間の景観性の向上に大きく寄与するものです。そのためには、地域に応じた木材利用の技術開発・普及が重要となります。

外構的に使われる木質部材は、日射、風雨、腐朽菌・カビ等により、経年的に色調や表面性状が大きく変化して当初の美観が損なわれ、木材の良さや機能が失われることが懸念されます。しかしながら、地域材の耐候劣化に関しての対策は十分ではありません。

以上の課題を解決するため、木質外構部材の耐候性能について、とくに木質外構部材（大規模木造建築物における「現し」部材を含む）の経年的な色調変化の程度を地域ごとに適確に予測する技術を開発し、更に耐候性の向上を目指して、それを木材保護塗料の塗替え基準などの維持管理技術と組み合わせる統合的な技術開発を進めてきました。

本事業は、平成 27 年度林野庁補正補助事業「地域の特性に応じた木質部材・工法の開発・普及等支援事業」を受け、“大規模木造建築物における外構材の耐候性向上・維持管理技術”によって実施してまいりました。本報告書は、その成果を取りまとめたものであります。

本事業の実施にあたっては、ご協力を賜りました委員各位をはじめ、日本木材防腐工業組合に対しまして厚く御礼申し上げます。

この成果を踏まえ、外構用途における木材の性能への信頼性が向上し、地域材の利用拡大がより一層進展することを期待しています。

平成 29 年 2 月 28 日

公益社団法人　日本木材保存協会
会長　今村祐嗣

目　　次

第 1 章　事業の背景と実施概要
1.1　事業の背景……1
1.2　事業目的……1
1.3　実施体制……2
1.4　試験・研究の実施経過と概要……3

第 2 章　全国での暴露試験・気象因子データ取り込みの統合
2.1　屋外暴露試験の方法とデータ収集方法……5
2.2　屋外暴露試験の各地域での結果……9
2.3　まとめ……32

第 3 章　木質外構部材の色調経年変化を気象因子から予測
3.1　概要……33
3.2　提案システムの目的……35
3.3　提案システムの概要……37
3.4　シミュレーション結果……47
3.5　シミュレーション結果の考察……61
3.6　3Dモデルを利用した気象因子変化による色変化予測……64
3.7　まとめ……67

第 4 章　メンテナンス手引きの作成
4.1　これからのメンテナンス手引きに求められること……69
4.2　木材の気象劣化の評価とメンテナンス技術の向上……70
4.3　メンテナンスの手引き（案）……73
4.4　将来の予測を取り入れた新たなメンテナンスの形……79
4.5　まとめ……80

第 5 章　成果のまとめと今後の課題
5.1　実施内容のまとめ……81
5.2　実施結果のまとめ……81
5.3　今後の展開……82

別添　成果報告書のＣＤ

第１章　事業の背景と実施概要

1.1　事業の背景

「公共建築物木材利用促進法」を背景に、東京オリンピック・パラリンピックの主会場となる新国立競技場では、大規模な木材利用が計画され、大規模木造建築物は嘗て無い注目を浴びている。更に、コンビニ・商業ビルなど非木造住宅での木材利用も進んでいるが、木造住宅の着工戸数は人口減少とも相まって、減少して行くことが確実視されている。

森林資源に目を移せば、戦後に造林した人工林を中心に、森林の蓄積は平成27（2015）年には約50億m^3を超え、これまで以上の利用が望まれている。とは言え、国産材供給量は近年回復傾向にあるものの、平成26（2014）年においても1,992万m^3に留まっている。森林資源の有効利用、森林の多面的機能の発揮、林業・木材産業の成長産業化、農山村地域の創生といった観点からみれば、地域材の利用拡大が強く求められる状況と言える。

木材が様々な建築物で利用されることに伴い、外構材として木材を外装に利用する事例や機会が増えている。しかし、屋外での木材利用は，腐朽やシロアリなどによる生物劣化、太陽光・雨水などによる気象劣化に直面する。そのため、これらの劣化から木材を守り、木材が本来持っている性能を長期間維持する為の技術が強く求められている。

都市の木質化・都市木造と言ったことばが少しずつ市民権を得てきており、今後、木材の美観を打ち出した「現し」的な利用が今以上に増えると考えられる。その様な場合、木材の経年変化や薬剤の溶脱による「白華」現象などで外観的な劣化が想定され、それは木材の美観を大きく損ねることとなる。その事は、「木材離れ」を引き起こす大きな原因と成ろう。

本事業は、上述した木材表面の色調の経年変化を事前に予測するためのシミュレーション法の開発を目的とした。本予測を、将来的に木造建築物の維持管理システムに組み込むことで、木造建築物に対する信頼性・安定性を強化し、需要拡大につなげることが出来よう。

1.2　事業目的

大規模木造建築物は、「公共建築物木材利用促進法」を背景に、東京オリンピック・パラリンピックに使われる新国立競技場での大規模な木材利用が注目を浴び、木材保存・難燃化技術の大きな進展等と相まって、更なる木材の普及が見込まれている。

木材利用拡大の社会的要請に対しては、地域材の利用をより一層進める必要があることから、木材劣化等の理由から利用が遅れていた外構的利用を拡大す

ることが必須である。そのためには、地域に応じた木材利用の技術開発・普及が重要となり、外構に使われる木質部材は、日射、風雨、腐朽菌・カビ等により、経年的に色調が大きく変化し、当初の美観が損なわれる。このような気象（耐候）劣化があるが、従来、木材に対する気象劣化に関しての対策は充分ではない。

そのため、本事業では耐候劣化への対策を示すことを目的とした。具体的な事業工程は、木質外構部材（大規模木造建築物における「現し」部材を含む）の経年的な耐候劣化の程度を適確に評価する劣化診断技術を開発し、それを耐候劣化の将来予測につなげ、更に将来予測結果を木材保護塗料の塗替え基準などの維持管理技術と組み合わせた統合的な技術開発を進めることにある。

1.3　実施体制

公益社団法人日本木材保存協会の今村祐嗣会長を委員長に、下記の実施体制をもって事業を推進した。

委員長：今村祐嗣（(公社）日本木材保存協会）
委　員：木口実、片岡厚、石川敦子(（研）森林総合研究所)
高橋時市郎、森谷友昭、窪田裕介（東京電機大学）
新井 崇博（東京医療保健大学）
伊佐治信一（(地独）北海道立総合研究機構 林産試験場）
江部憲一（山形県工業技術センター）
村井まどか（(地独）東京都立産業技術研究センター）
山本健（広島県立総合技術研究所 東部工業技術センター）
三井幸成（熊本県林業研究指導所）
小谷忠明、福田健一　（大阪ガスケミカル（株））
山口秋生（越井木材工業（株））
事務局：鈴木昭、山本幸一、小林理恵
（(公社）日本木材保存協会）

暴露試験体の製作（木取・製材、熱処理、加圧注入処理、塗装処理等）は、森林総合研究所、大阪ガスケミカル（株)、越井木材工業（株）が連携して行った。

全国での暴露試験は、(地独）北海道立総合研究機構 林産試験場、山形県工業技術センター、(研）森林総合研究所、(地独）東京都立産業技術研究センター、広島県立総合技術研究所 東部工業技術センター、熊本県林業研究指導所に上記の暴露試験体を配布し、実施した。

暴露試験で得られた画像データは、東京電機大学、東京医療保健大学に集約

し、データベース化し分析を行った。

事務局は、暴露試験体、スキャナー等の手配・配布、委員会・現地検討会、ワーキングの開催、成果報告会の開催（日本木材防腐工業組合との共催)、報告書の取り纏めを行った。

1.4　試験・研究の実施経過と概要

6 月 14 日に第２回委員会を東京都で開催した。6 月から 7 月にかけて暴露架台が設置されていない、広島県東部工業技術センター、熊本県林業研究指導所用に製作し設置した。加えて、暴露試験体の製作を行った。

7 月 15 日（金）に暴露試験体を、北海道立総合研究機構林産試験場、山形県工業技術センター、森林総合研究所、東京都立産業技術研究センター、広島県立東部工業技術センター、熊本県林業研究指導所の暴露架台に設置した。7 月 13 日に暴露前の試験体色調を、7 月 29 日（金）に暴露 2 週間後の試験体色調をスキャナーで取り込み、東京電機大学のデータベースに入力した。併せて、6 試験地近傍のアメダスデータの入力を行った。その後、12 月まで 2 週間間隔で、その後は 4 週間間隔で測定を継続した。

10 月 25 日に第２回委員会・現地検討会を、群馬県前橋市内で開催した。12 月 19 日、1 月 26 日に予測方法の検討・成果発表に関するワーキングを東京電機大学で開催した。

2 月 14 日 12：30 より新木場ホールにて、成果報告会（木材防腐工業組合と共催）を以下の構成で開催した。

第一部　大規模木造建築物における木質外構部材の耐候性向上・維持管理技術の確立

外構材の耐候性向上・維持管理事業の概要

事業委員長（公社）日本木材保存協会会長　今村祐嗣

1）全国での暴露試験・気象因子データ取り込みの統合

（地独）北海道立総研林産試験場　伊佐治信一

2）木質外構部材の色調経年変化を気象因子から予測

東京電機大学　森谷友昭

3）メンテナンス手引きの作成

（研）森林総合研究所　片岡　厚

10 種類の表面処理を施した木材と無処理木材を、全国 6 ヵ所で屋外暴露し、木材表面の色調変化に関するデータを統一キャリブレーションしたスキャナーで取り込み､データをインターネットで 1 ヵ所に集約するシステムを構築した。

暴露試験体のスキャン画像の各画素値（L^*値：明度、a^*値：明度 赤/緑、b^*

値：明度 黄/青）を目的変数とし、暴露箇所直近のアメダスデータ（累積日平均気温、累積降水量、累積日全天日射量）を説明変数として回帰分析し、地域毎の回帰式を得た。得られた回帰式を用いて、暴露開始後の経年による木材表面の色調変化を予測することができた。

暴露試験体の処理方法・暴露地域・暴露経過年数をそれぞれ選択し、その実測画像、及び経年後の色調変化の予測画像を一覧することが出来る画像ビューワーを作成した。

本色調変化予測システムを基本として、屋外の「現し」での木質外構材の経年変化を予測し、その結果を維持管理計画に取り入れるメンテナンス手引きの方向性を示した。

第 2 章　全国での暴露試験・気象因子データ取り込みの統合

木質材料は、金属・窯業系などの他の建築資材と比較して色調変化を起こしやすい材料である。屋外環境における木質材料の色調変化は、早ければ数週間以内に観察される。これらの変化は、気象劣化因子の負荷の程度によって異なるため、気象条件等の違いを把握し、色調変化を考慮した建築物の設計を行うことが可能となれば、予め高耐候化等の対策が立てやすくなるとともに、トラブルの回避にもつながると考えられる。

本章では、木質材料の色調変化を気象因子から予測するために必要な暴露データの収集方法、および全国 6 か所で実施した屋外暴露試験結果について述べる。

2.1　屋外暴露試験の方法とデータ収集方法

2.1.1　暴露試験体の作成

塗装基材には、スギ材を用いた。図 2.1 に、暴露試験体の外観を示す。熱処理木材および、木材保存剤の ACQ 処理については、越井木材工業（株）において行われた。塗装については、大阪ガスケミカルズ（株）において行われた。塗装は塗装基材を 23℃、湿度 55%RH の恒温恒湿室にて 7～10 日間養生した後、刷毛を用いて行い、2 回塗りで仕上げた。塗装 1 回目と 2 回目の塗装間隔は、含侵形塗料で 24 時間、造膜形塗料では 4 時間であった。

2.1.2　屋外暴露試験

屋外暴露試験は、以下の 6 か所で実施した（図 2.2)。

・北海道旭川市（(地独）北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場）(以下、旭川と記す)
・山形県山形市（山形県工業技術センター）(以下、山形と記す)
・筑波県つくば市（(研）森林総合研究所）(以下、つくばと記す)
・東京都江東区（(地独）東京都立産業技術研究センター）(以下、台場と記す)
・広島県福山市（広島県立総合技術研究所東部工業技術センター）(以下、福山と記す)
・熊本県熊本市（熊本県林業研究指導所）(以下、熊本と記す)

暴露条件は､南向き 45 度とし､木材の繊維方向を地面に対して垂直に向けて、暴露架台に設置した。つくばにおいては､軒の出や方位の影響を調べるために、軒付きの 4 面暴露台に辺材無処理および心材無処理の試験体を設置した。これらの屋外暴露試験は、すべての機関において 7 月 15 日に開始した。

1 辺材無処理

2 心材無処理

3 心材含浸形淡色

4 心材含浸形中間色

5 心材含浸形濃色

6 心材造膜形淡色

7 心材造膜形中間色

8 心材造膜形濃色

9 辺材熱処理

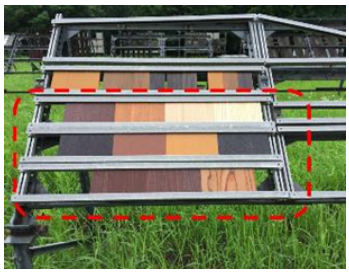
10 辺材熱処理+含浸形中間色

11 辺材加圧注入処理(ACQ)+含浸形中間色

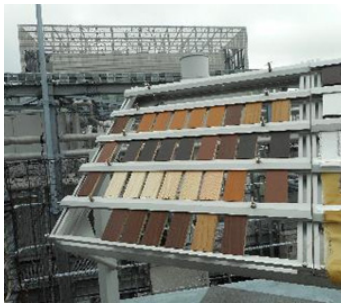
図 2.1　屋外暴露試験体の外観

旭川

山形



つくば



台場

福山

熊本

軒付き垂直暴露台（つくば）

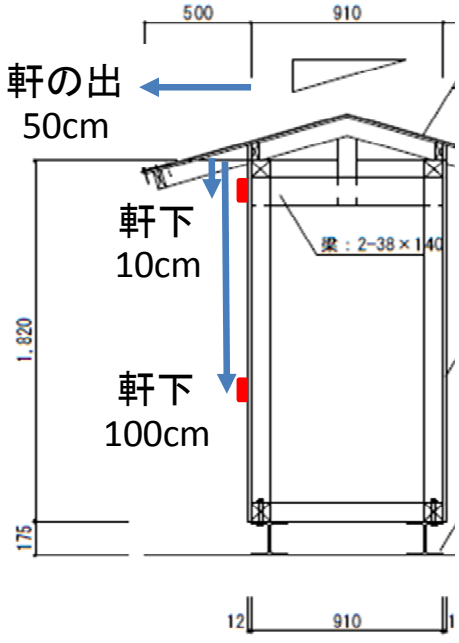


図 2.2　屋外暴露架台の外観

2.1.3　暴露画像の記録

暴露画像の記録には、スキャナー（EPSON 製 GT-X980）を用いた（図 2.3）。画像の取り込みには、スキャナーの付属ソフト（EPSON SCAN）を用い、24 ビットカラー、200dpi、sRGB、保存形式 TIFF の条件で記録した。なお、暴露画像の取得の前に、x-rite 製の ilProfiler および、ソフト付属の T8 ターゲット（反射光用）を用いて、スキャナーの色の校正を行った。暴露画像の取り込みは、暴露前、暴露後 2、4、6、8、10、14、18、22、26 週後とした。しかし、回収予定日に降雨等があり、測定に支障が生じる場合には、±3 日程度の範囲で回収日を変更した。

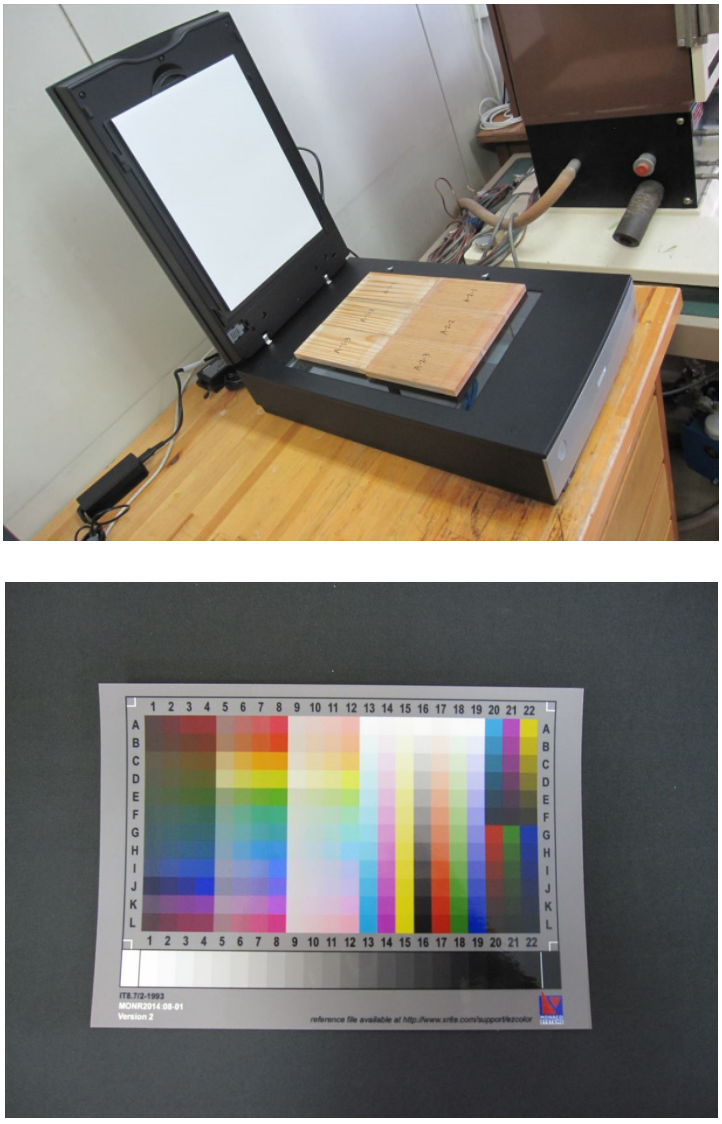


図 2.3　暴露画像の測定に使用したスキャナとカラーチャート

2.1.4　気象観測データの取り込み

気象庁のホームページから、暴露期間中の日平均気温、降水量の合計、全天日射量の統計データをダウンロードした。なお、福山については、最寄りの観測地点において全天日射量の計測を行っていたいため、桑形[1)]の方法を用いて、大気上端の水平面日射量、可照時間を算出し、福山で記録されている日照時間を用いて日平均全天日射量の推定値を算出し、各種解析に用いた。

2.2　屋外暴露試験の各地域での結果

2.2.1　暴露期間中の気象環境

図 2.4～図 2.6 に、屋外暴露期間中の、日平均気温、降水量、全天日射量の日平均（累積値を暴露日数で除した値）およびそれらの積算値を示す。日平均気温は、熊本、福山、台場、つくば、山形、旭川の順に高くなった。降水量は、台場が最も多く、次いで旭川、つくば、熊本、山形、福山の順に多くなった。また、福山については、暴露開始後 6 週目までの降水量が少ないことが特徴的であった（図 2.5)。全天日射量は、熊本、福山、山形、台場、旭川の順に多くなった。これらの気象観測データを整理すると、

・旭川と山形：気温が低い寒冷地の気候
・台場とつくば：比較的日射量が多く、降水量の多い太平洋側の気候
・福山：日射量は多く、降水量が少ない瀬戸内の気候
・熊本：気温が高く、日射量と降水量も多い九州の気候

となり、今回の 26 週間の暴露期間においても、各地域の特徴が反映されていたと考えられた。

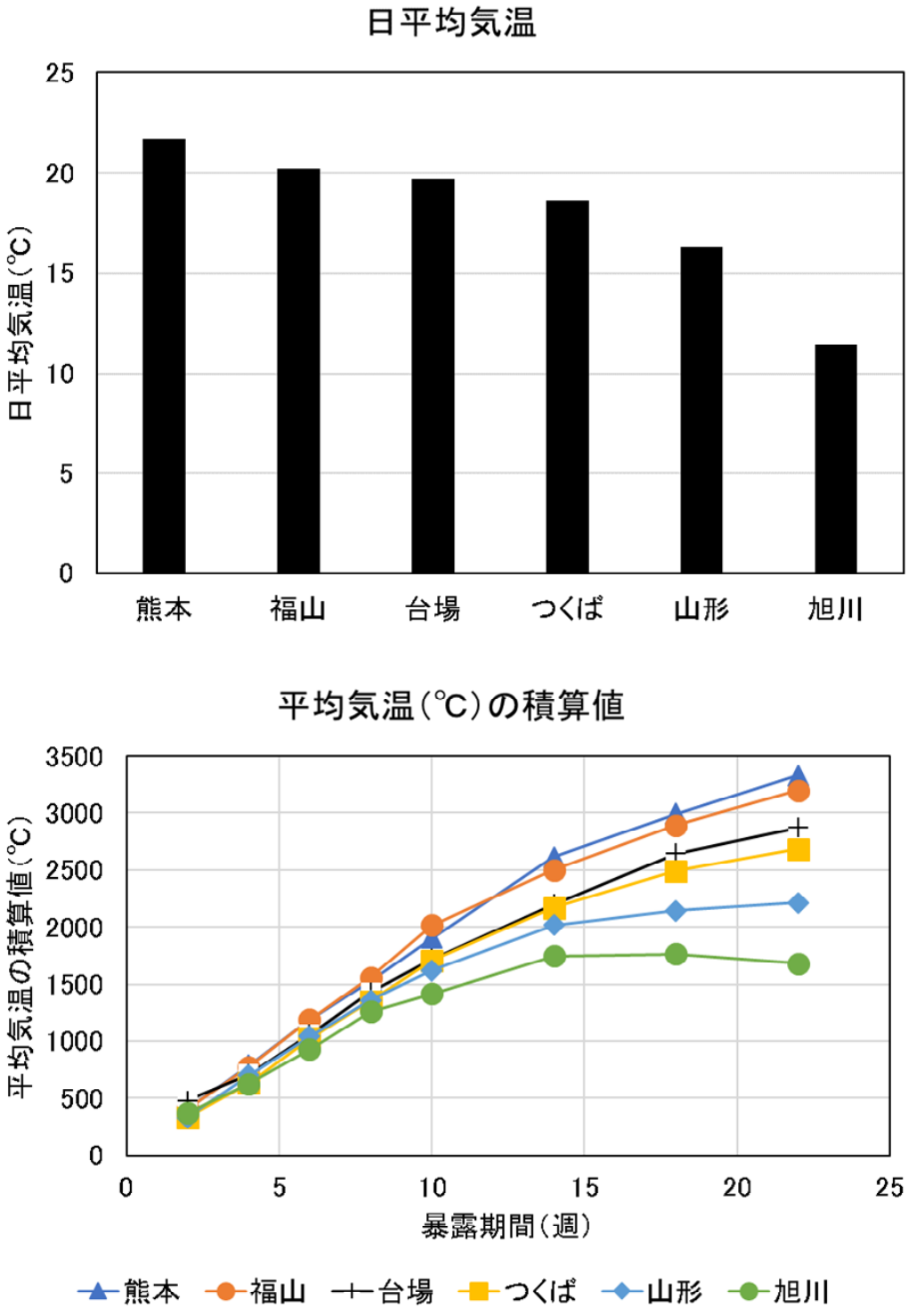


図 2.4　屋外暴露期間中の日平均気温とその積算値

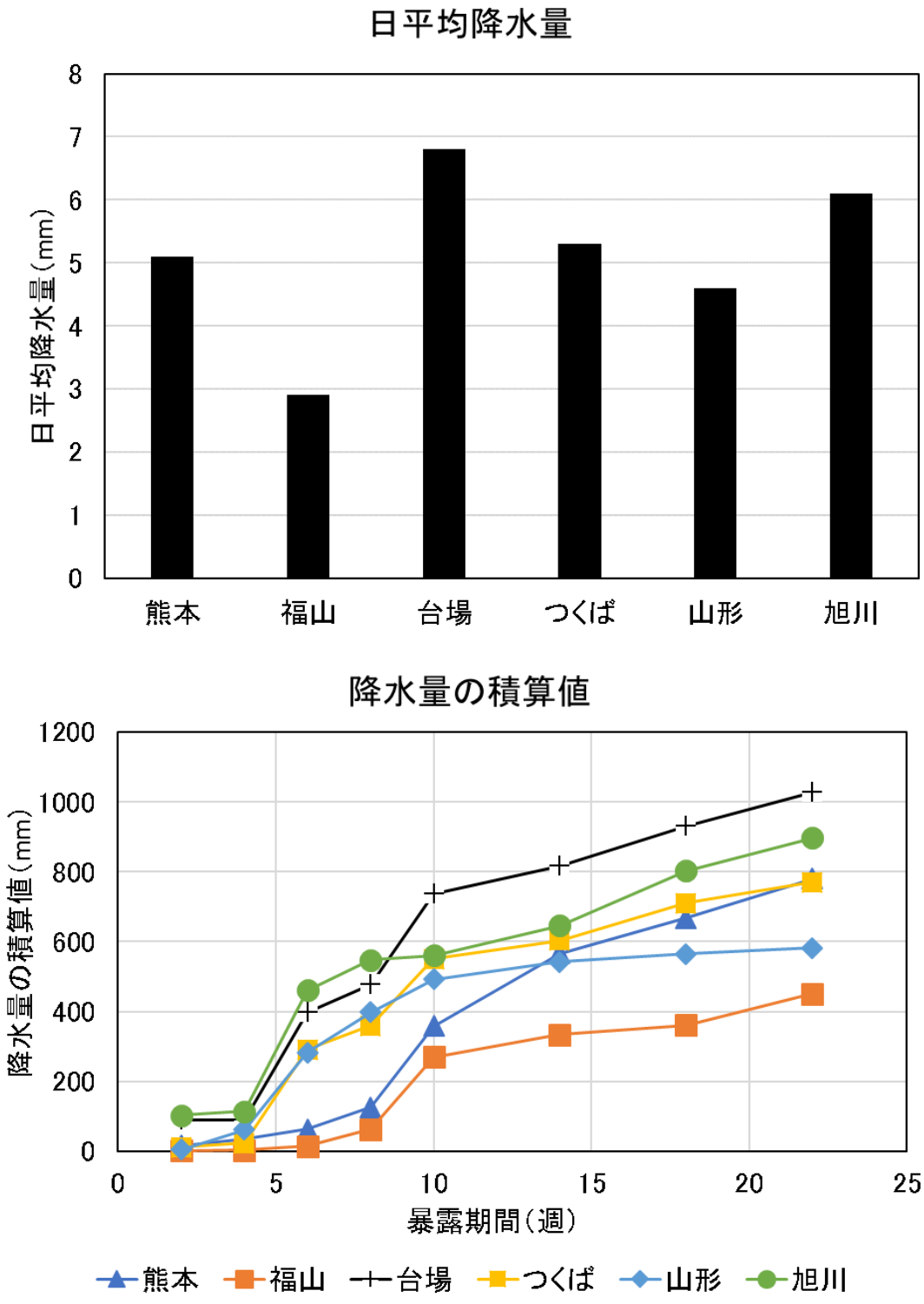


図 2.5　屋外暴露期間中の日平均降水量とその積算値

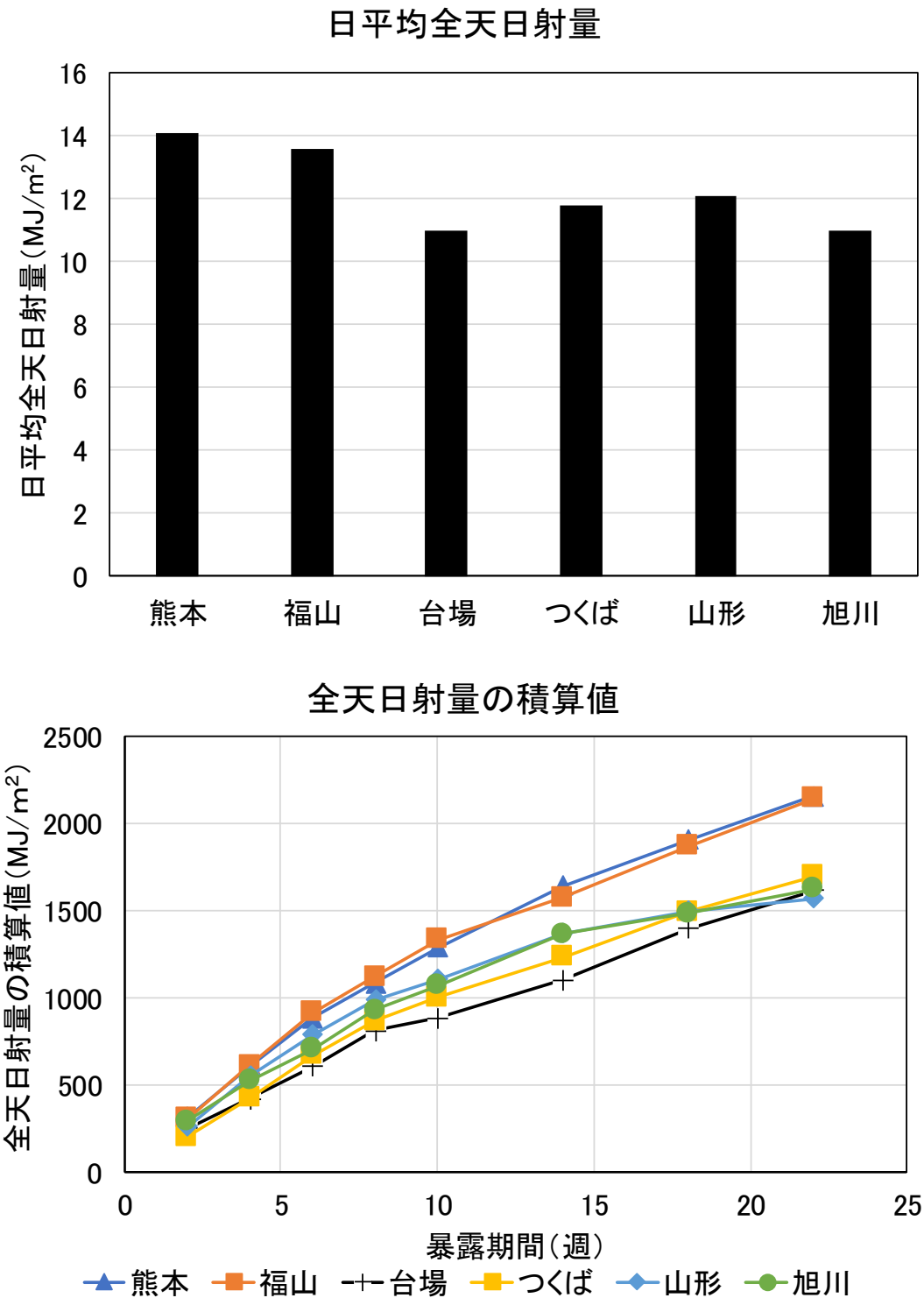


図 2.6　屋外暴露期間中の日平均全天日射量とその積算値

2.2.2　屋外暴露試験体の色調変化

図 2.7 に、一例として旭川で暴露された試験体の屋外暴露 26 週間の色差変化を示す。塗装を行っていない辺材無処理、心材無処理、辺材熱処理については、暴露開始 2 週目から色差値は大きく増加した。また、辺材無処理と辺材熱処理の色差値は、心材無処理よりも大きな値で推移しており、辺材は心材よりも変色しやすい結果となった。木材の気象劣化因子の中で、紫外線は、木部の劣化に大きな影響を与えるが、光の浸透しやすさは、木材の密度に反比例することが報告されている[2)]。よって、今回観察された辺材と心材の劣化の差異も、木材の密度の影響が反映された結果と考えられる。図 2.8 に、色差値の変化が大きかった辺材無処理、心材無処理、辺材熱処理の屋外暴露 26 週間の外観の変化を示す。これら無塗装試験体については、暴露 2 週経過後から、色調の変化が観察された。辺材無処理と心材無処理については、黄色味を帯びた濃色に変化した後、退色していき 26 週目には灰色となった。辺材熱処理については、暴露 2 週後から淡色化していき徐々に灰色に変化していった。無塗装試験体 3 種類ともに、早材部は晩材部より変色の速度が速い傾向にあった。

図 2.9～図 2.11 に、暴露地間の色調変化を比較するために、屋外暴露 26 週間の無塗装試験体（辺材無処理、心材無処理、辺材熱処理）の外観変化を並べて比較した結果を示す。どの暴露地においても 26 週後には灰色まで変化したが、着色の程度や灰色に至るまでの色調変化の速度は地域によって異なる傾向を示すことが明らかになった。特に福山においては、他の地域に比べて、濃色化から淡色化に至る変化が遅い傾向にあった。これは、暴露初期に日射量は多かったものの、降水量が少なく、木材表面に形成された着色成分の溶出が他の暴露地よりも遅れたことが要因の一つと考えられた。

図 2.12～図 2.17 に、各暴露地における暴露前と暴露 26 週後の外観の変化を示す。塗装した試験体については，暴露 26 週間の間に目立った色調変化や塗装面の劣化が観察されなかった。このことから、含浸形塗料，造膜形塗料による塗装は，通常の木材だけでなく、熱処理材や保存剤の加圧注入処理材についても、暴露初期の色調変化を抑制する上で有用であることが確認された。これら塗装した試験体の色調変化や塗り替えに関する情報を蓄積するためには、屋外暴露試験を継続してデータを蓄積していく必要があると考えられる。

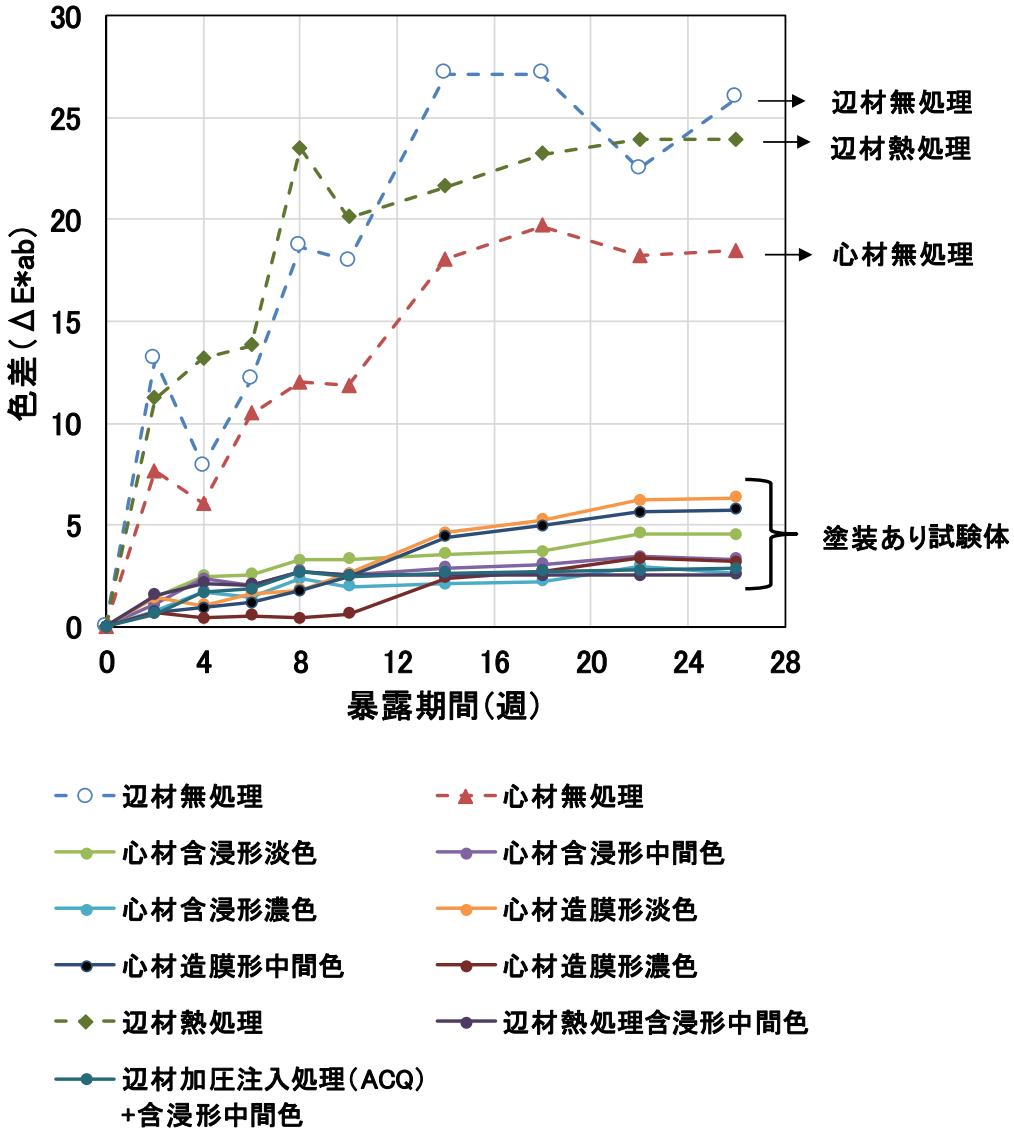


図 2.7　屋外暴露試験体の色差変化の一例（暴露地：旭川）

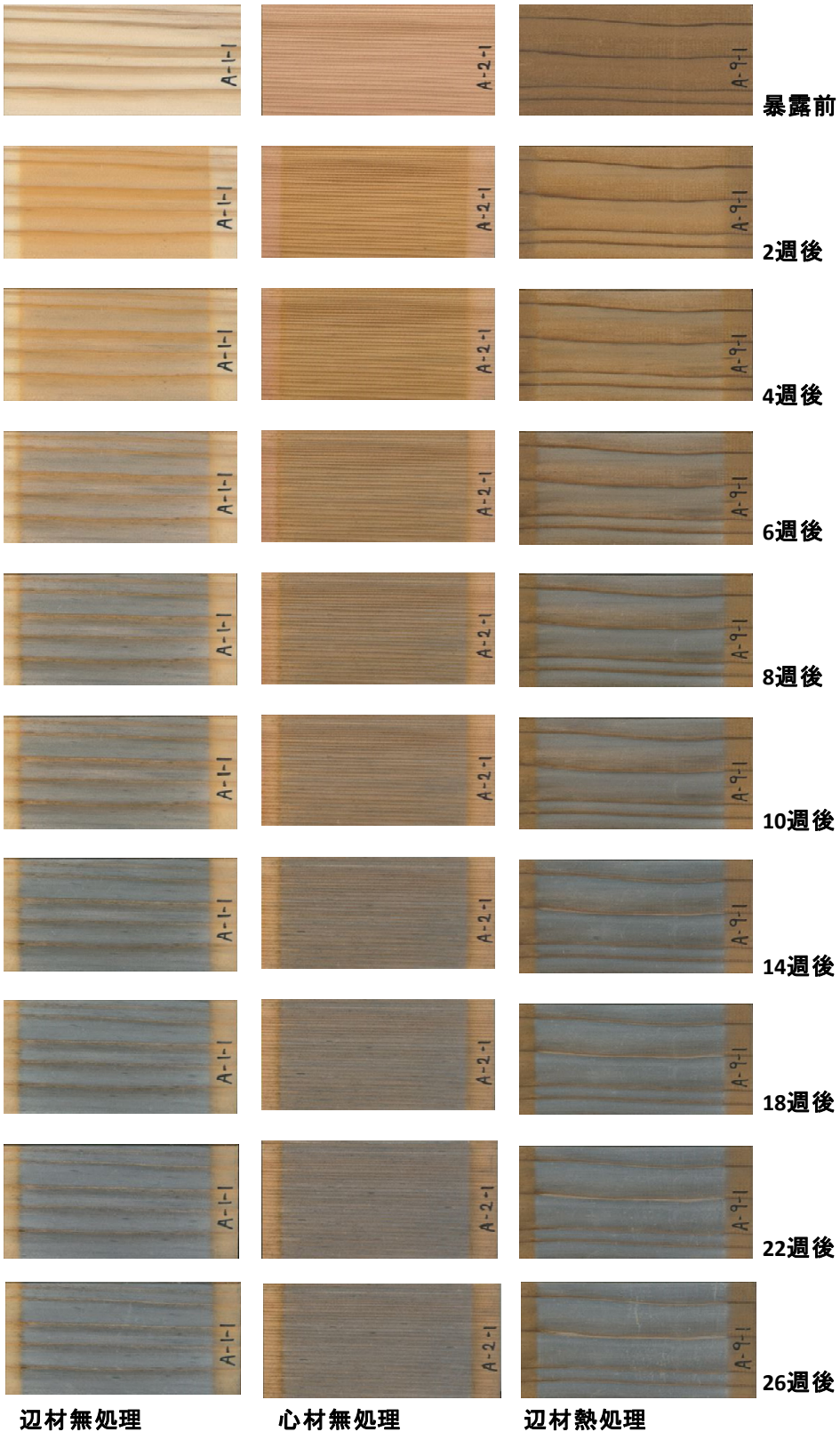


図 2.8　無塗装試験体の外観変化（暴露地：旭川）

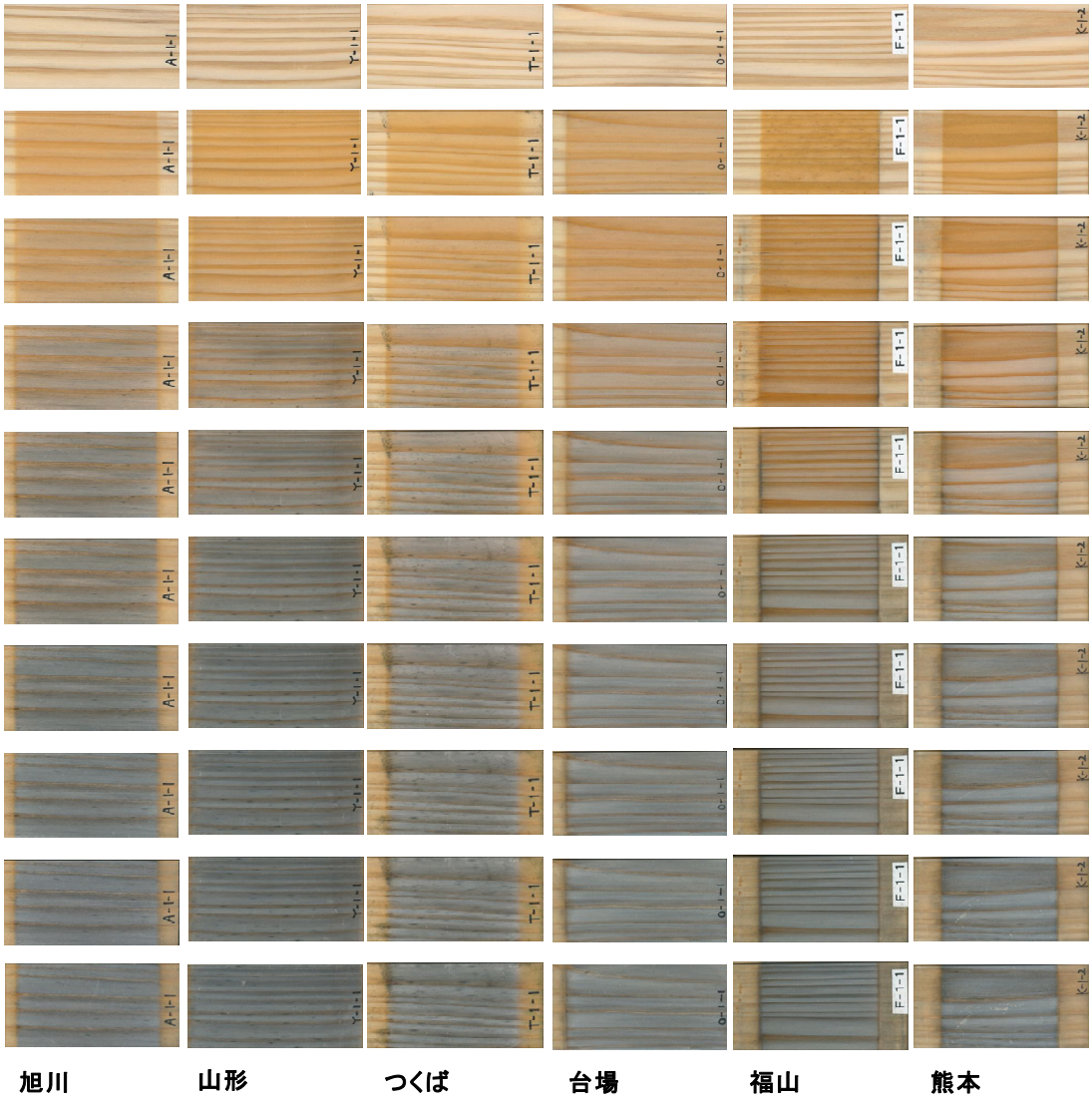


図 2.9　全国 6 箇所で暴露された辺材無処理試験体の外観変化
（上から順に、2、4、6、8、10、14、18、22、26 週後の試験体を示す）

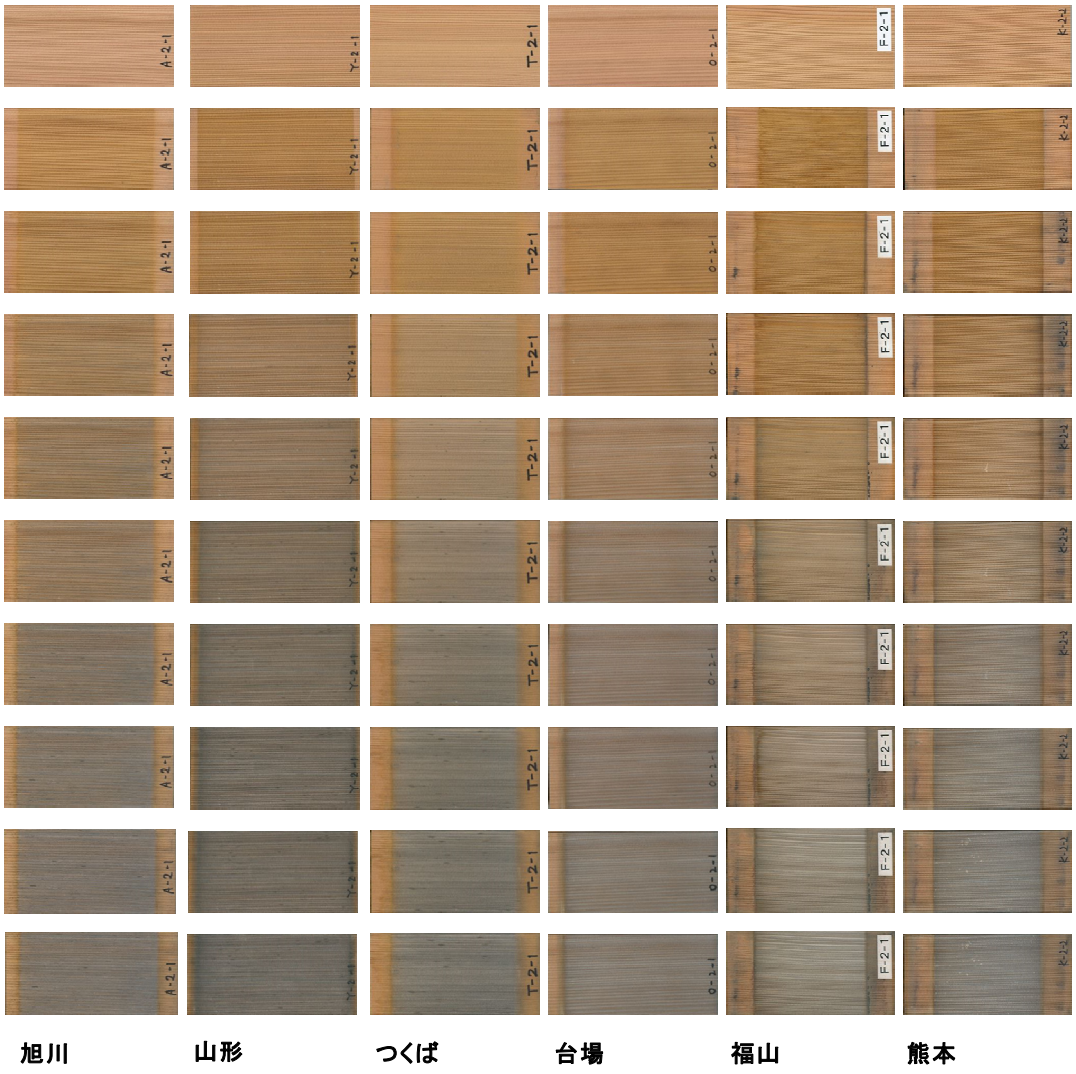


図 2.10　全国 6 箇所で暴露された辺材無処理試験体の外観変化
（上から順に、2、4、6、8、10、14、18、22、26 週後の試験体を示す）

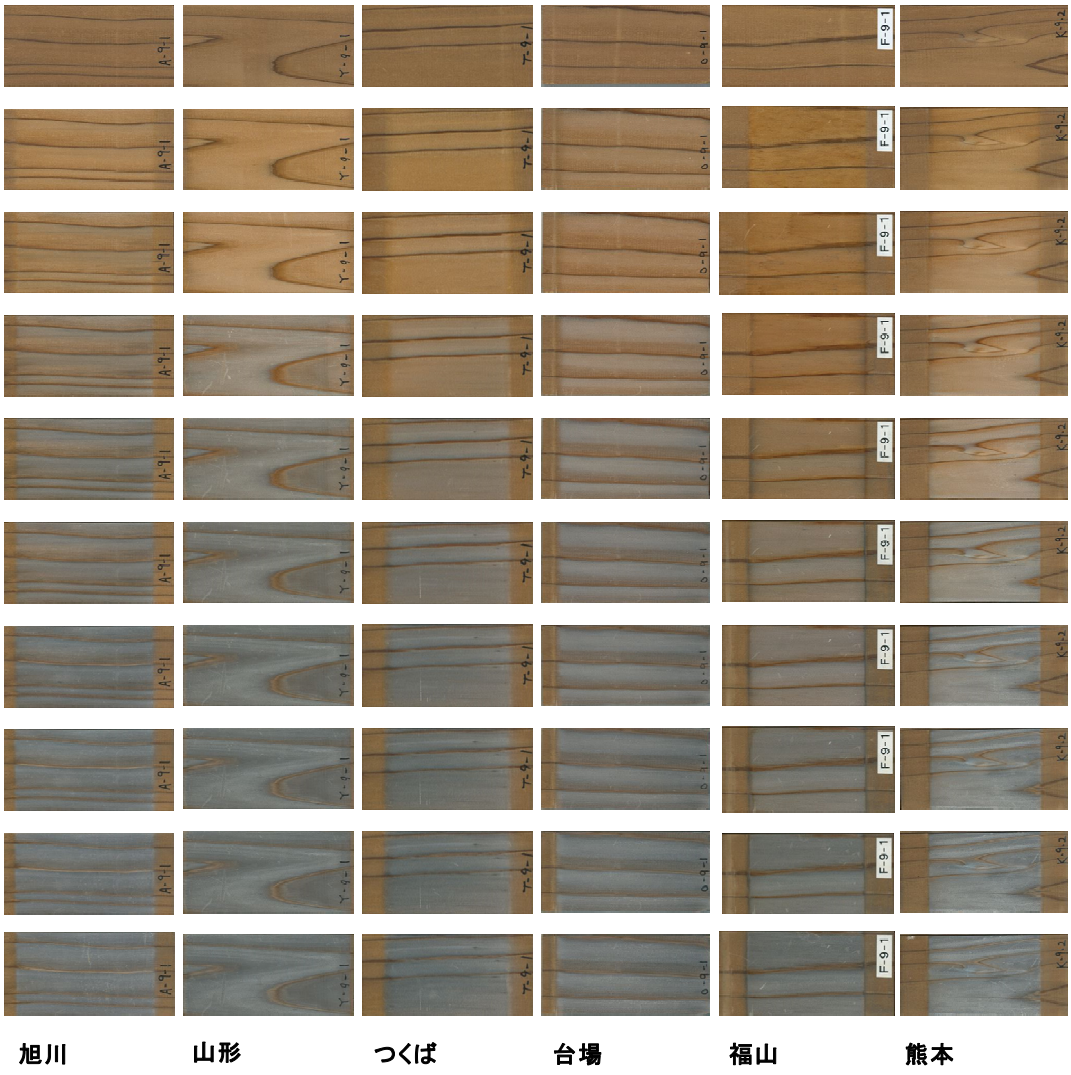


図 2.11　全国 6 箇所で暴露された辺材無処理試験体の外観変化
（上から順に、2、4、6、8、10、14、18、22、26 週後の試験体を示す）

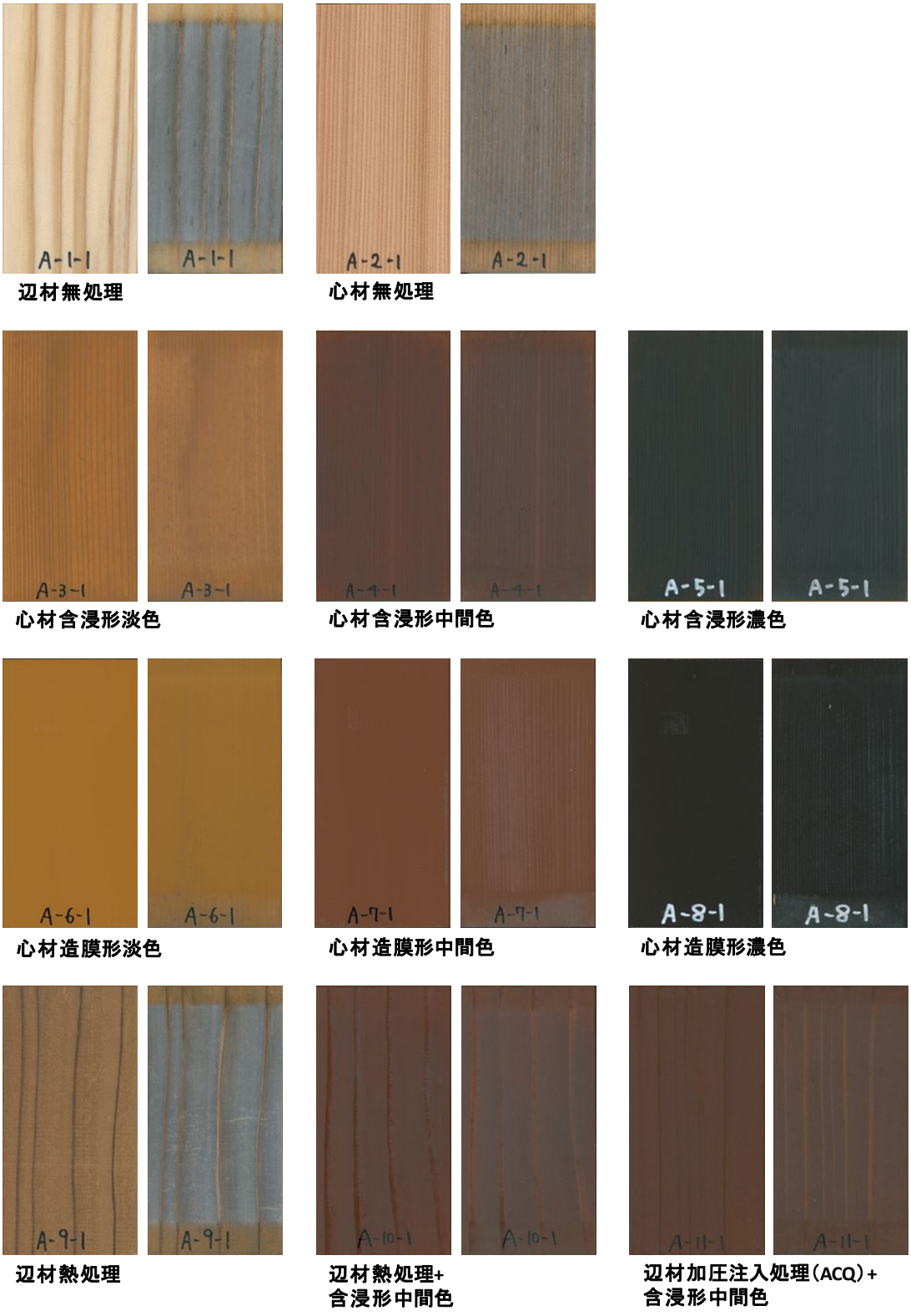


図 2.12　旭川における屋外暴露試験前後の試験体の外観
（左：暴露前、右：暴露 26 週経過後）

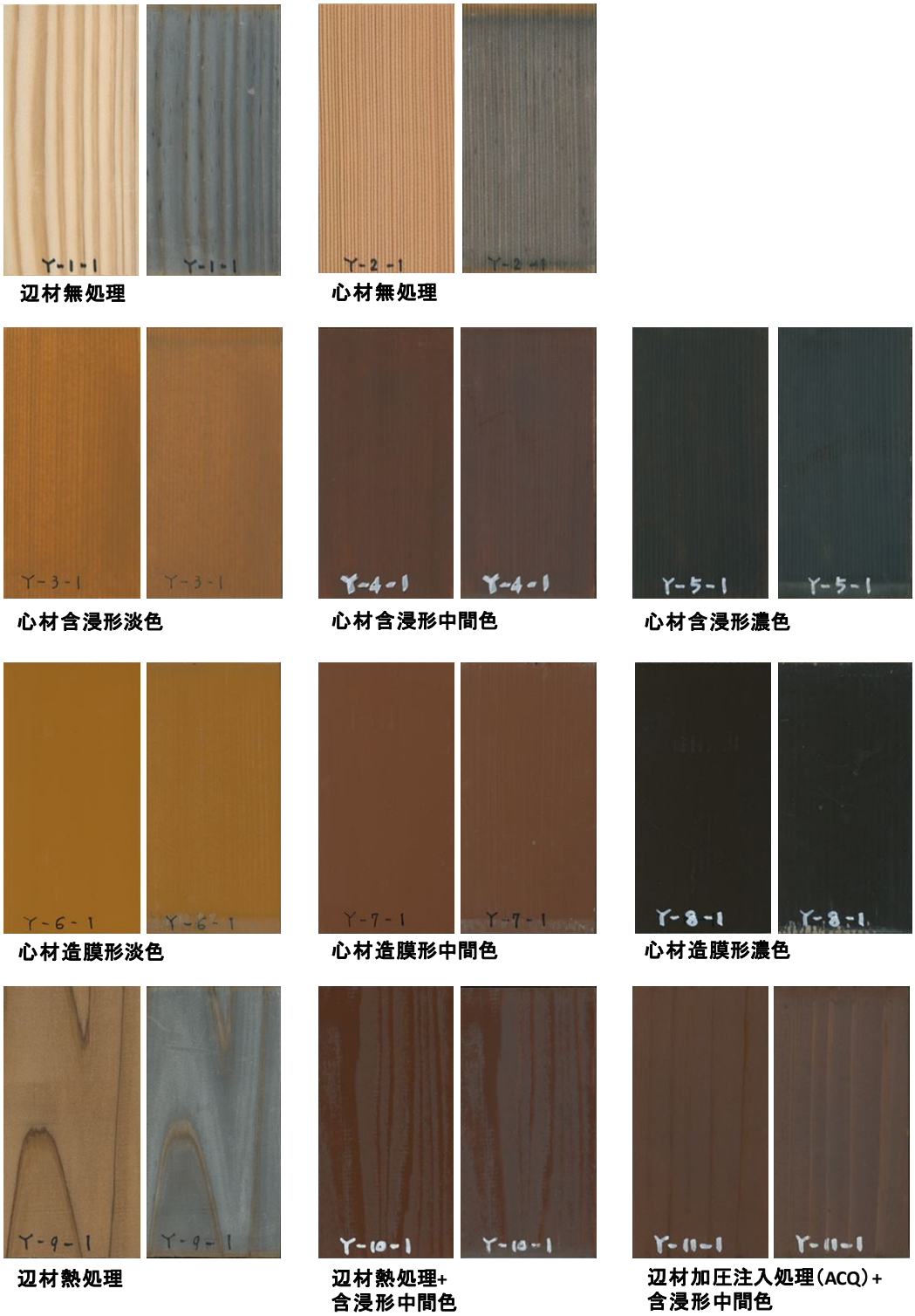


図 2.13　山形における屋外暴露試験前後の試験体の外観
（左：暴露前、右：暴露 26 週経過後）

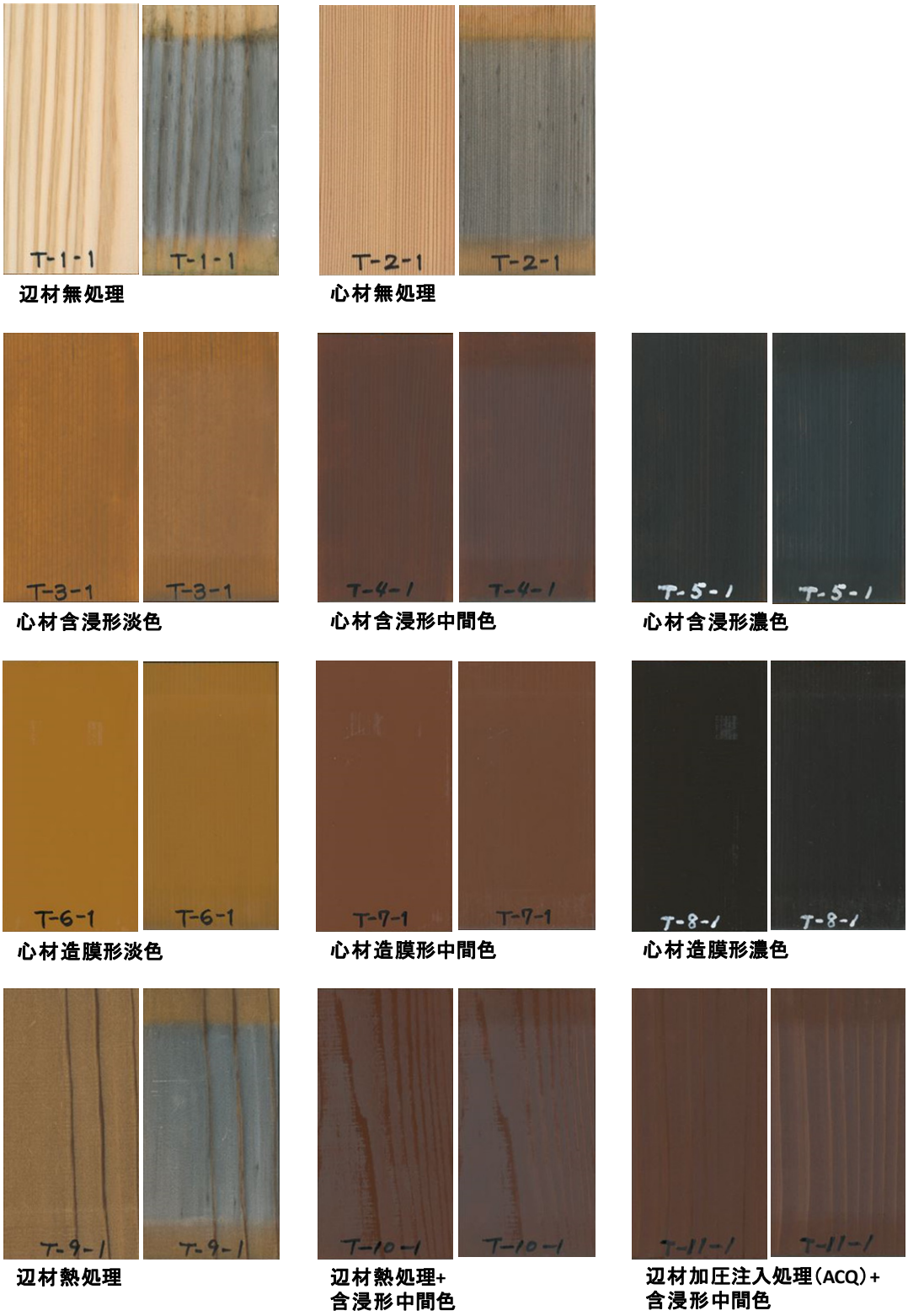


図 2.14　つくばにおける屋外暴露試験前後の試験体の外観
（左：暴露前、右：暴露 26 週経過後）

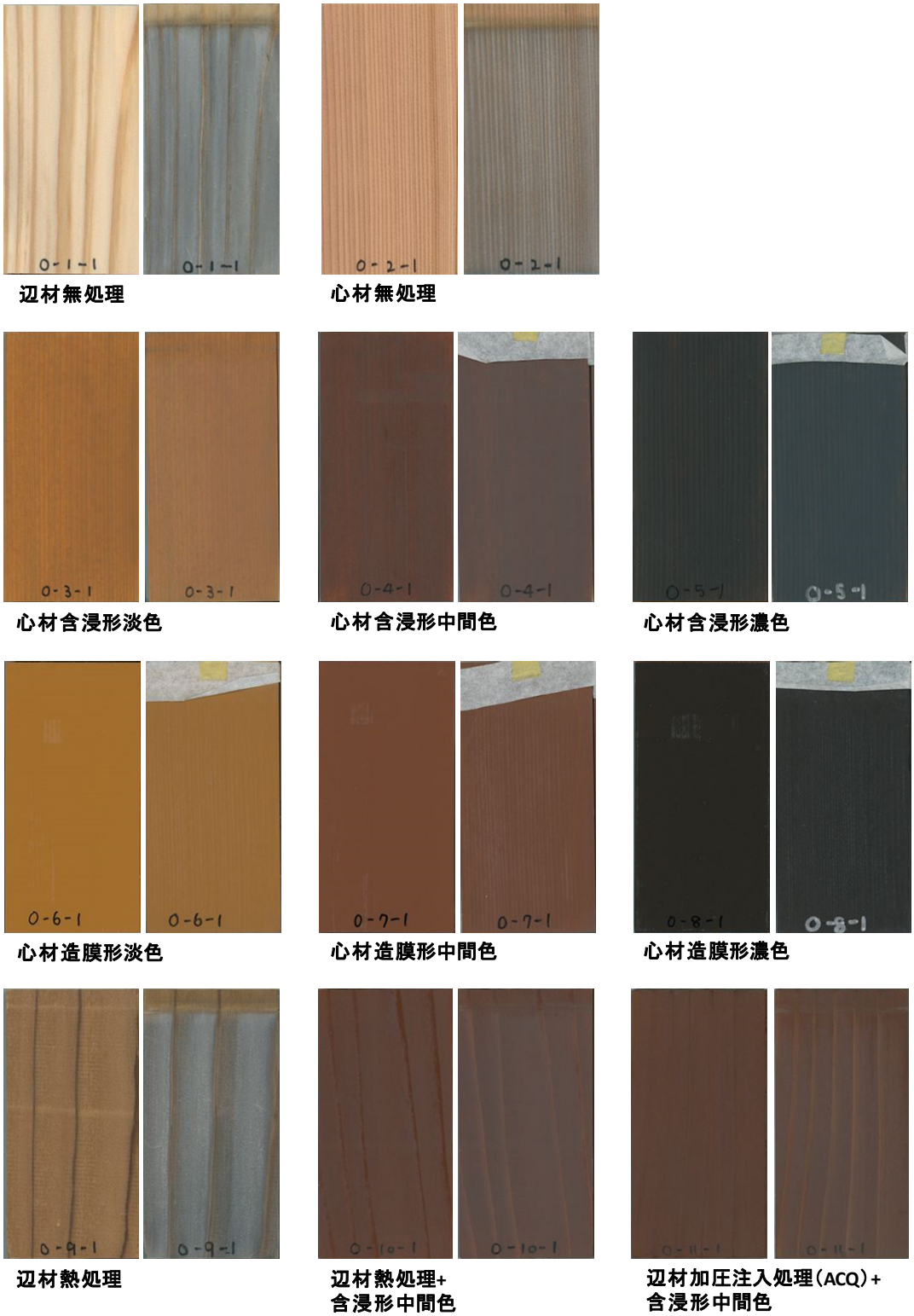


図 2.15　台場における屋外暴露試験前後の試験体の外観
（左：暴露前、右：暴露 26 週経過後）

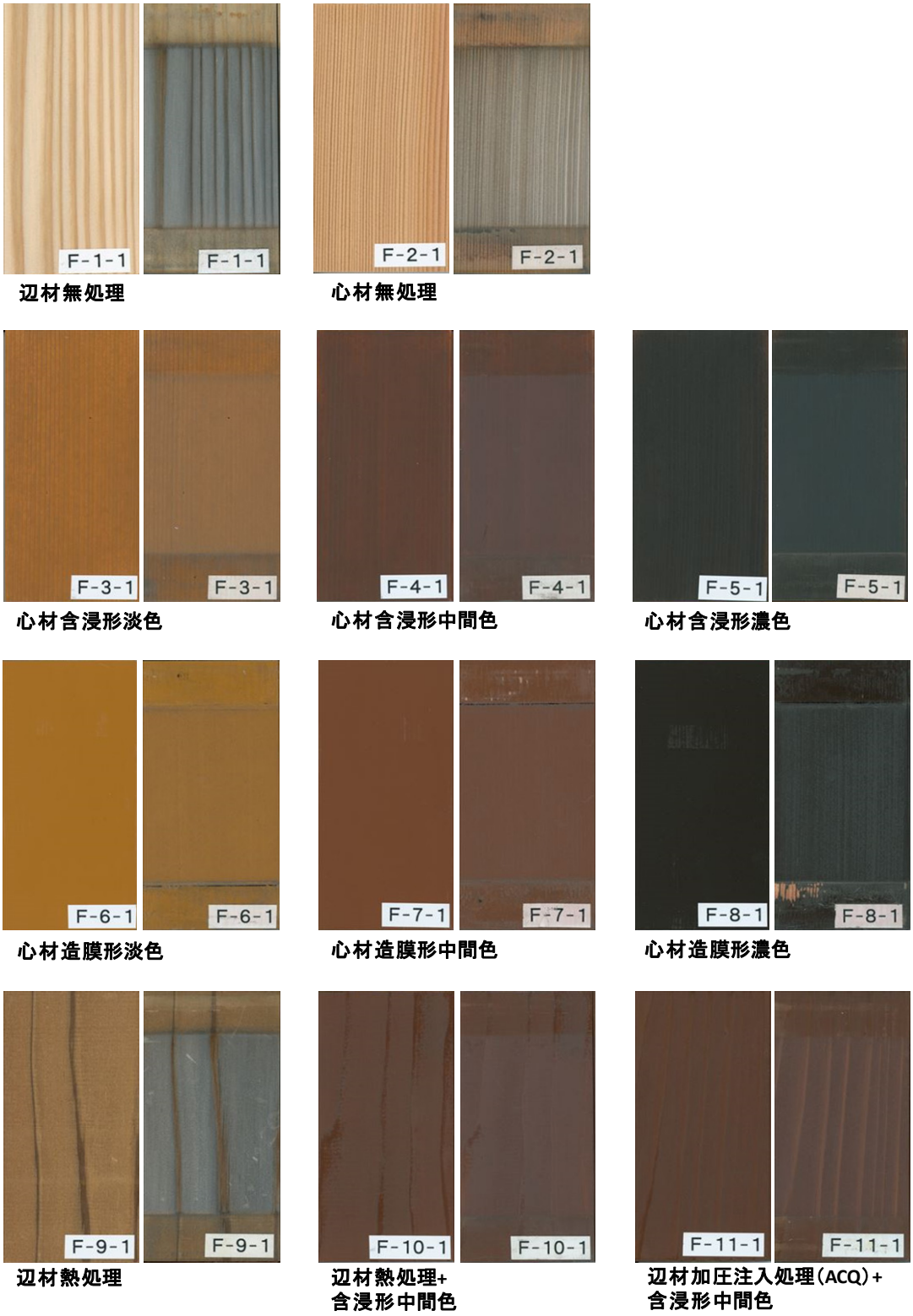


図 2.16　福山における屋外暴露試験前後の試験体の外観
（左：暴露前、右：暴露 26 週経過後）

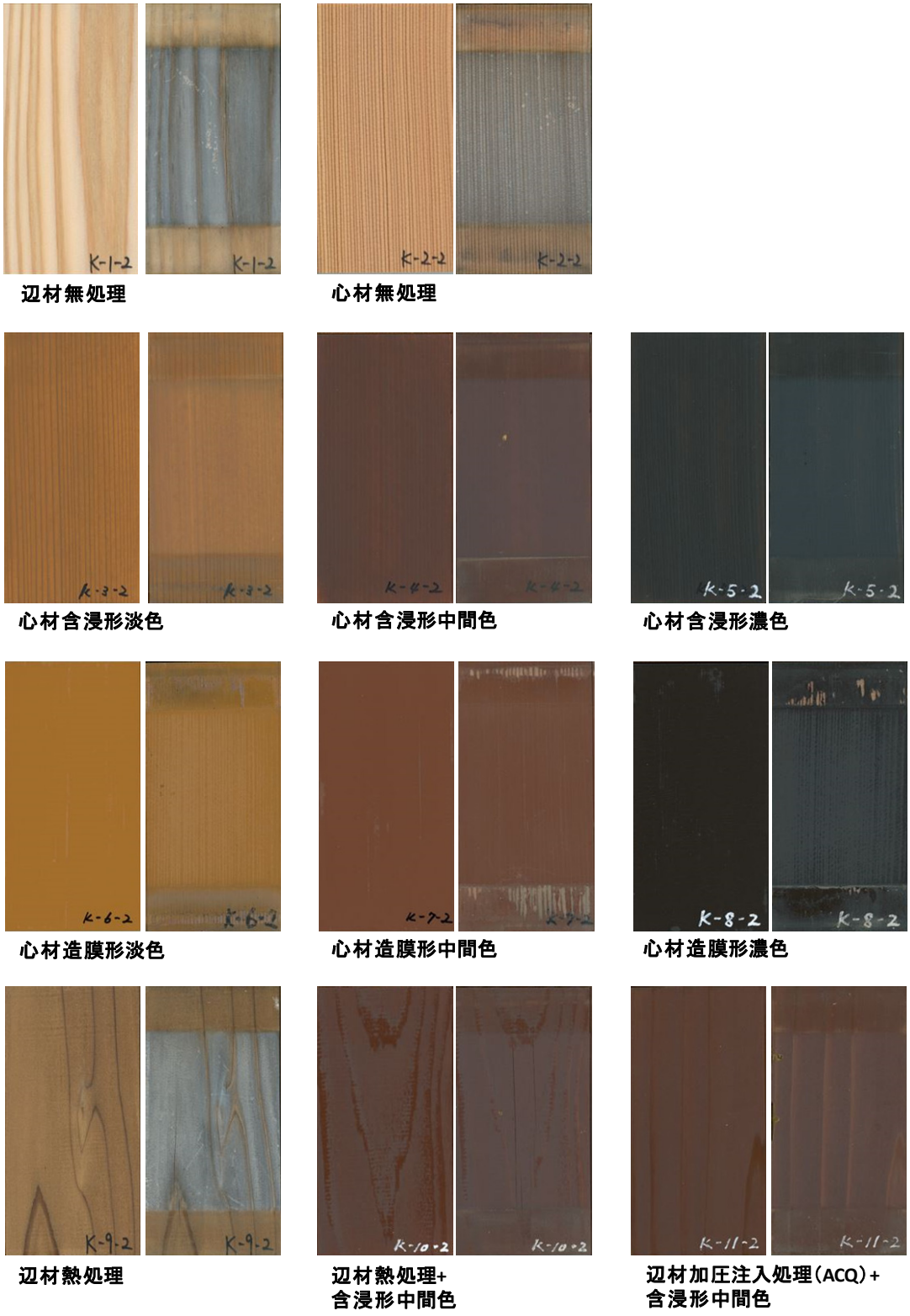


図 2.17　熊本における屋外暴露試験前後の試験体の外観
（左：暴露前、右：暴露 26 週経過後）

図 2.18、つくばにおける、軒下 10 ㎝と 100 ㎝、および軒なしの条件で暴露された心材無処理と辺材無処理の暴露前と暴露 26 週経過後の外観を示す。また、図 2.19 に、これらの試験体における色差変化を示す。変色は、軒下 10 ㎝、軒下 100 ㎝ともに、軒なしの条件よりも抑えられる傾向を示した。これらの結果から、軒下 100 ㎝のように比較的太陽光や雨水の当たる環境においても、軒なしの条件と比較すると変色の速度を弱める効果を有していることが確認された。

図 2.20 と図 2.21 に、軒の出と方位の条件を変えて暴露された心材無処理と辺材無処理の暴露前と暴露 26 週経過後の外観を示す。また、図 2.22、図 2.23 にこれらの色差変化を示す。軒下 10 ㎝においては、外観上方位の違いは観察されず、同程度の変色を示した。一方、軒下 100 ㎝においては、北面の変色が、東西南面よりも若干抑えられている傾向を示した。

これらの軒の出や方位の影響を検証した試験体については、暴露 26 週後においても濃色に変化した状態であった。今後どの程度の期間を経て灰色まで変化するのかを継続して測定を行い、知見の蓄積を図る必要があると考えられる。

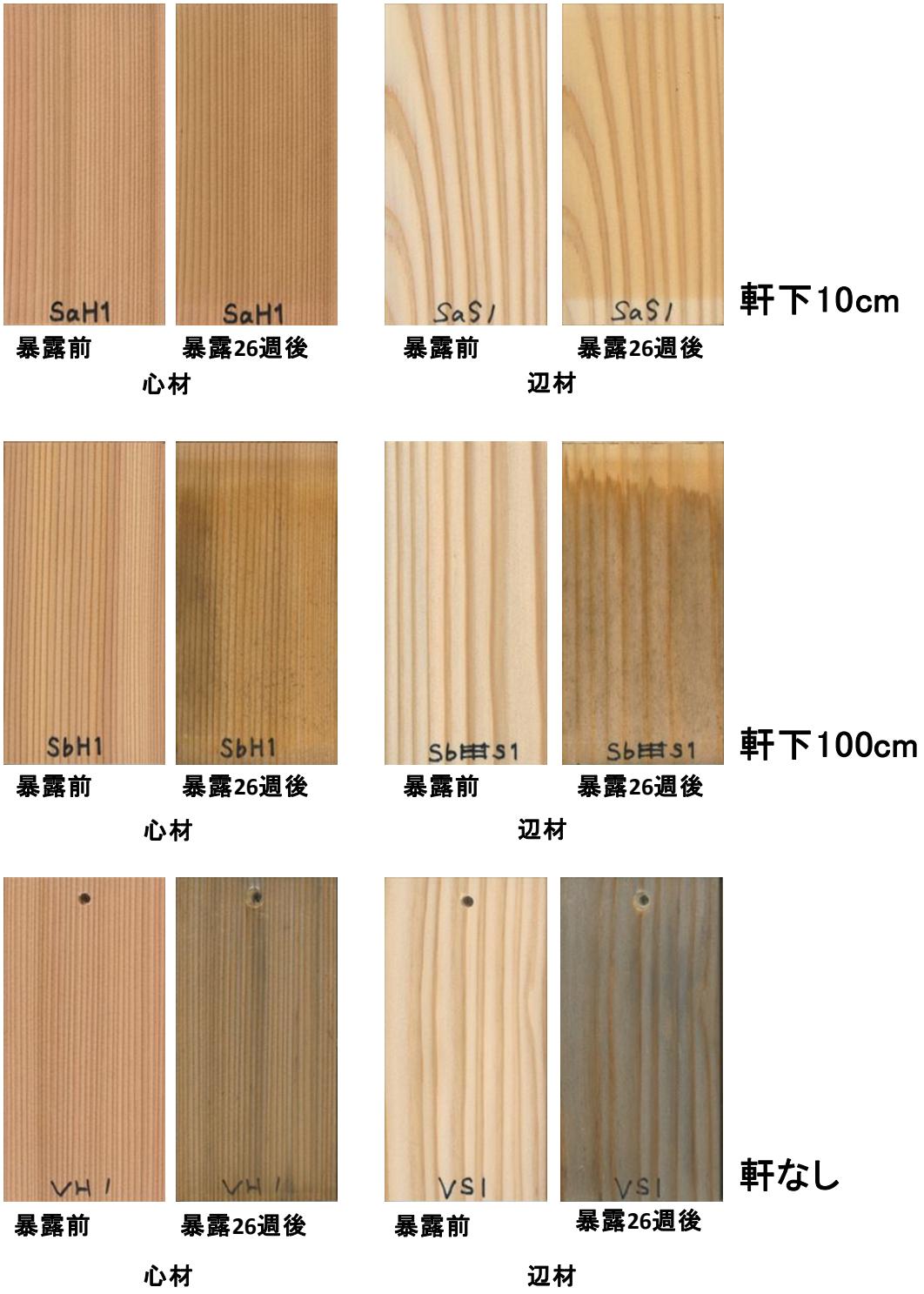


図 2.18　軒の出の比較（暴露地：つくば）

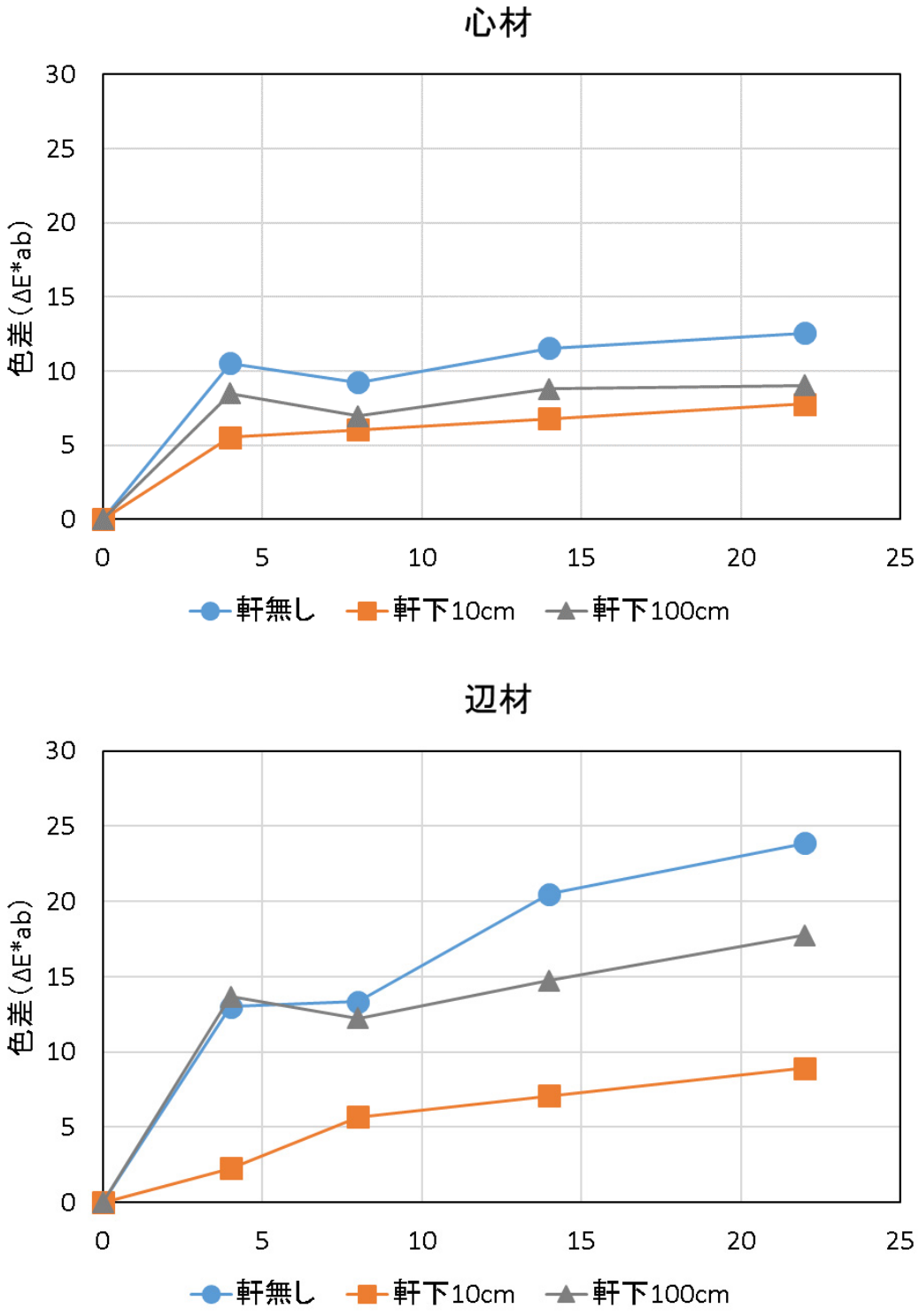


図 2.19　色差変化に及ぼす軒の出の影響

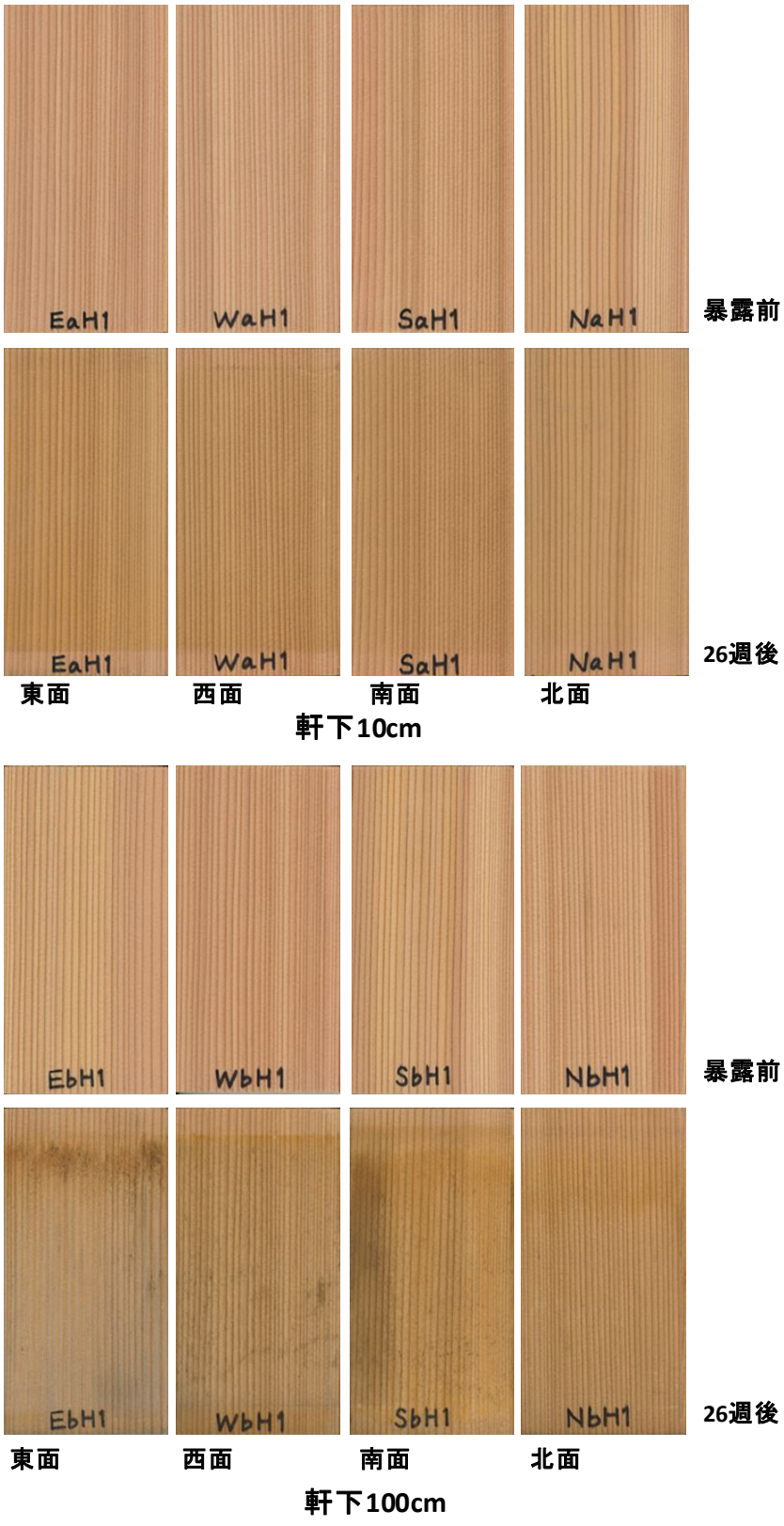


図 2.20　軒の出と方位の比較
(試験体：心材、暴露地：つくば)

図 2.21　軒の出と方位の比較
（試験体：辺材、暴露地：つくば）

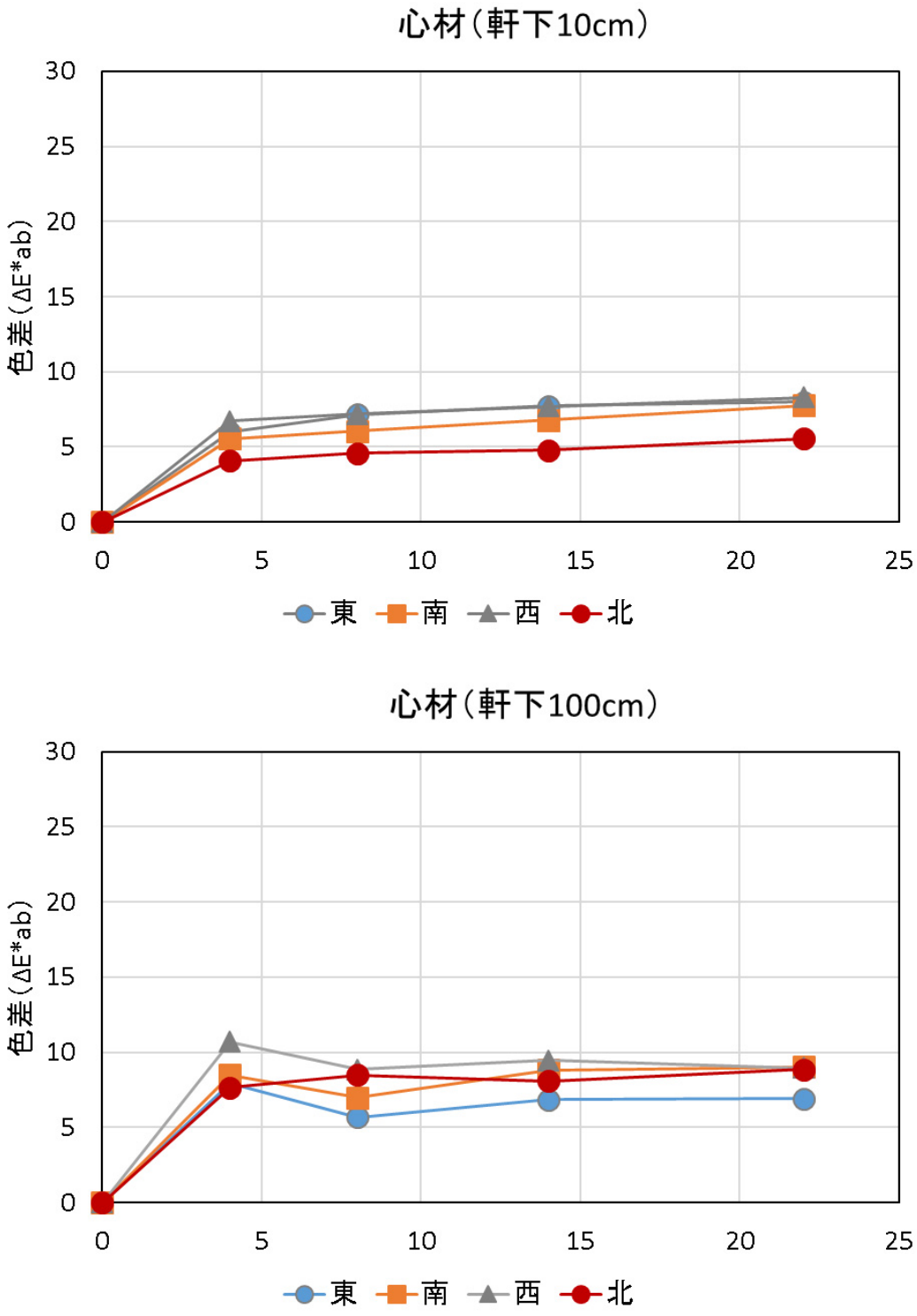


図 2.22　色差変化に及ぼす方位の影響

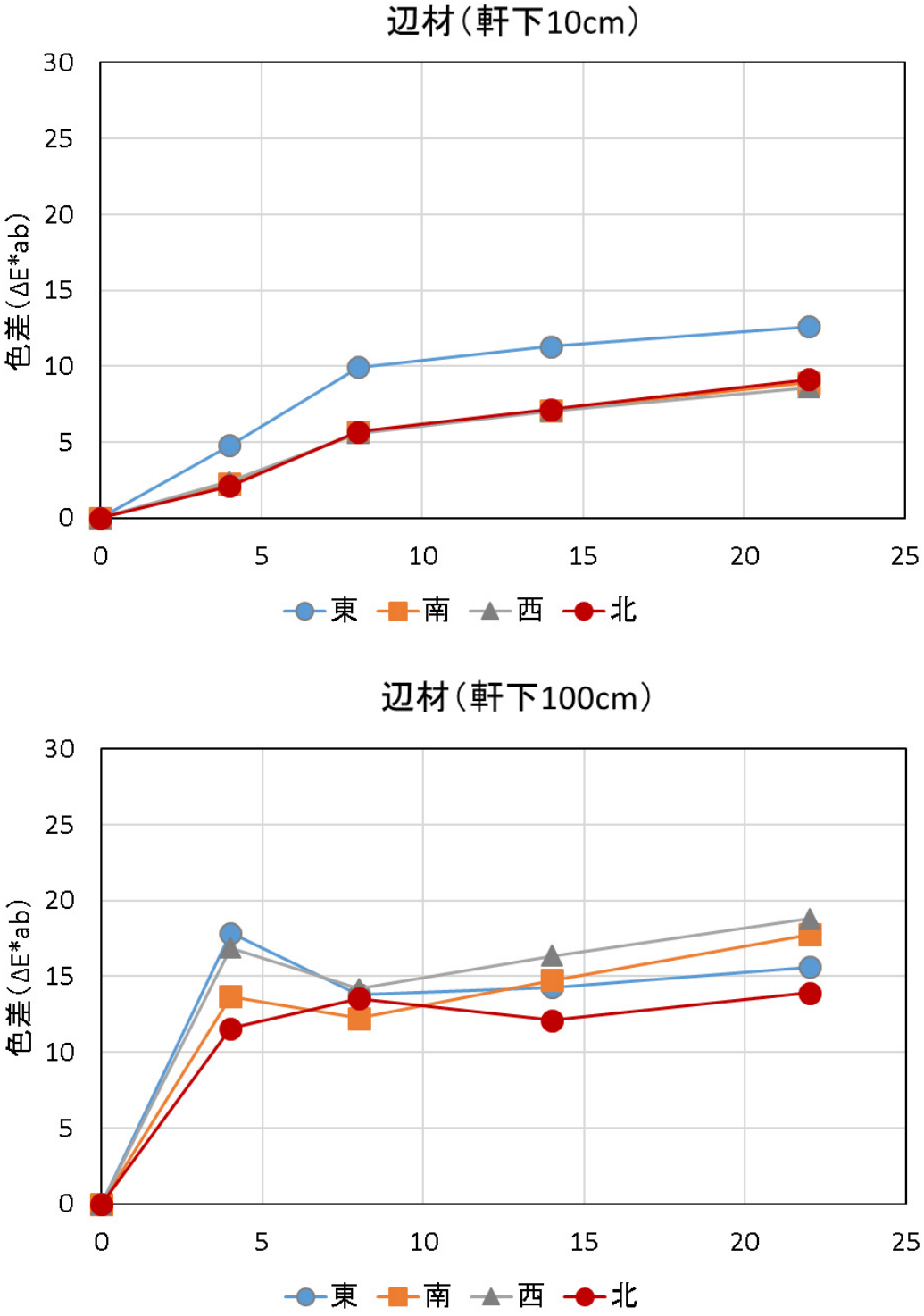


図 2.23　色差変化に及ぼす方位の影響

2.3　まとめ

各種木質材料の色調変化を気象因子から予測するために必要な暴露データを得るために、全国 6 か所において屋外暴露試験を実施した。暴露データの記録には、すべての暴露地において同一の測定条件とするために、同一条件で校正されたスキャナーを用いて暴露画像を記録する方法を採用した。本年度得られた知見は以下の通りである。

・スキャナーを用いて暴露画像を記録することで、全国で同時期に暴露された木質材料の色調変化を、直接比較することが可能となった。

・塗装を行っていない未処理木材の暴露初期における色調変化は、どの暴露地においても①濃色化、②淡色化、③灰色化の順に変化していく傾向を示したが、これら変色の速度は、暴露地域間で差異があることが明らかになった。

・含侵形塗料、造膜形塗料を用いて塗装した試験体については、未処理材、熱処理材、木材保存剤加圧注入処理材ともに色調変化はほとんど起こらず、暴露初期の変色抑制に効果があることが明らかになった。

・軒付き 4 面暴露台を用いて、色調変化と軒の有無や方位の関係を調べた結果、軒は変色を抑制する効果があることや、北面は東西南面より変色の速度が若干遅いことを定量的に把握することができた。

参考資料

1)　桑形恒男：アメダス地点における全天日射量（日平均）の推定法, http://cse.naro.affrc.go.jp/ketanaka/model/help/solarradiation/kuwagata/ame_sd.pdf.

2) 片岡厚:屋外用の木材塗装に関する技術動向, 塗装工学, 48(1), 28-38(2013).

第 3 章　木質外構部材の色調経年変化を気象因子から予測

3.1　概要

近年、木材の処理技術の向上により、耐久性能、また防腐性能などの向上が顕著である。また、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の施行などで、建物の外壁への木材利用が盛んになってきている。

しかし、木材の保存処理技術は向上しているが、現在においても、木材の経年による色変化は防止できない。図 3.1 に建物（大阪木材会館）の外壁に使用された木材の色変化例を示す。図 3.1（a)、(b）は、建物の正面を 2011 年 2 月 25 日、2012 年 10 月 29 日に撮影した写真である。(a）から約 1 年半後の（b）の写真では、建物上部の木材が灰色に、建物下部の木材は濃い茶色に変色していることが分かる。

外壁などに使用された木材の色変化は、建物の見た目の印象に大きく関わる。そのため、建築主などが想定していない木材の色変化に直面した場合、クレーム発生の原因になる可能性が高い。それを防止するためには、木材は色変化することを建築・建設計画時点より前の段階で建築主に伝える必要がある。そのため、木材の色変化シミュレーションシステムの確立が重要となる。

（a）2011 年 2 月 25 日撮影

（b）2012 年 10 月 29 日撮影

図 3.1　大阪木材会館の正面写真

3.2　提案システムの目的

木材の暴露試験によって得られた木材の色変化データ、および気象データから、木材の色変化予測式を算出し、それを利用することで、木材の色変化シミュレーションシステムを構築する。木材の色変化シミュレーションにより、建築主などに、施工前に外壁に木材を利用した場合の色変化を伝えることが可能となる。

図 3.2 に提案システムの結果例を示す。図 3.2 上部に並ぶ木材の画像は、暴露試験によって得られた実際の木材のスキャン画像であり、左から右に時間が経過していく。写真下部のグラフは、画像中の色を L*a*b*形式でグラフ化したものである。そして、図 3.2 下部に並んだ木材の画像は、提案するシミュレーションシステムにより生成されたものである。

暴露前の（最も左の）木材の画像と、気象データを入力することで色変化をシミュレートした画像を生成することができる。

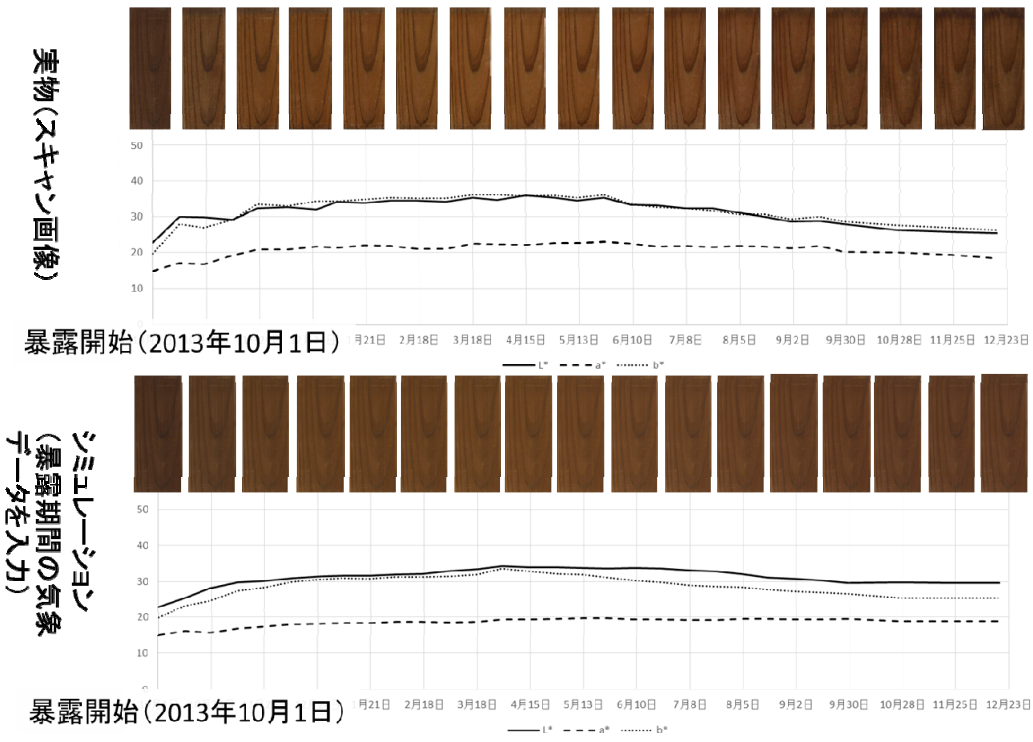


図 3.2　本システムの結果例

3.3　提案システムの概要

図 3.3 に本提案システムの概要を示す。本システムは

（1）気象データ

－累積気温

－累積降水量

－累積日射量

（2）シミュレーション対象となる暴露前の木材画像の 2 つを入力する。

システムに組み込まれた木材色予測式に（1）気象データを入力すると、L*a*b* それぞれの色変化量が算出される。それを基に（2）の木材の画像に対して変色処理を行うことで、予測された変色後の木材の画像が出力される。

本システムの各構成要素の詳細について述べる。

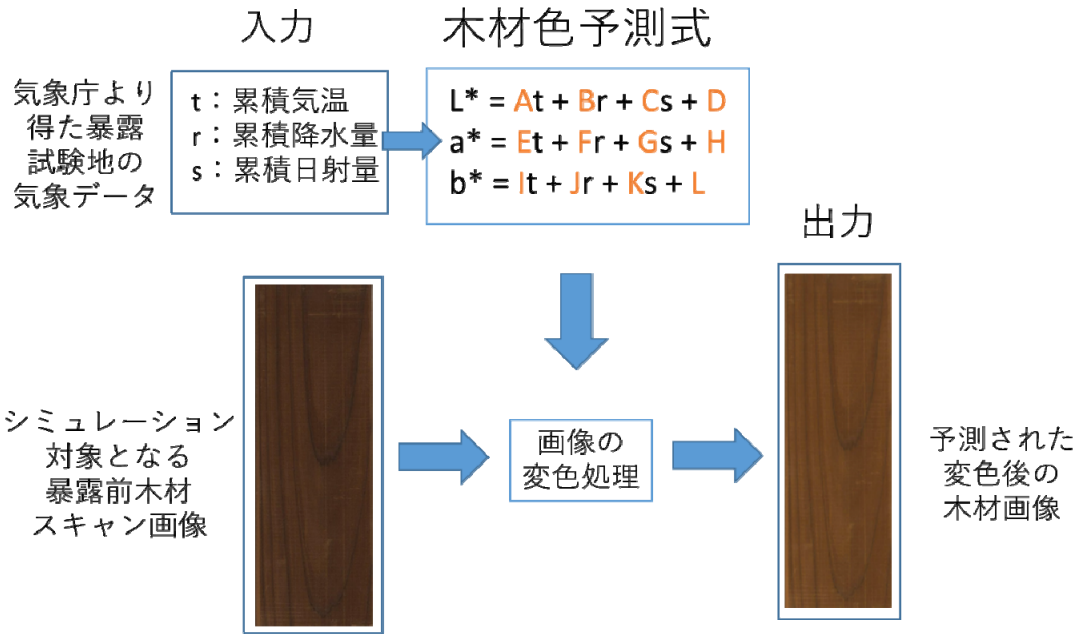


図 3.3　提案システムの概要

3.3.1　入力する気象データ

入力する気象データは以下に示すとおりである。

（1）気象データ

　－累積気温

　－累積降水量

　－累積日射量

ここで累計とは、暴露開始日からシミュレーション結果となる日までの合計値を意味する。各日の気温、降水量、日射量は気象庁の Web ページ*より取得できる。図 3.4 に例としてつくばの 2016 年 7 月 1 日から 12 月 31 日までの、気温、降水量、日射量を示す。

　例えば、2016 年 7 月 1 日に暴露を開始し、2016 年 12 月 31 日のシミュレーション結果を得たいのであれば、入力する数値は

　－累積気温　：3289.3

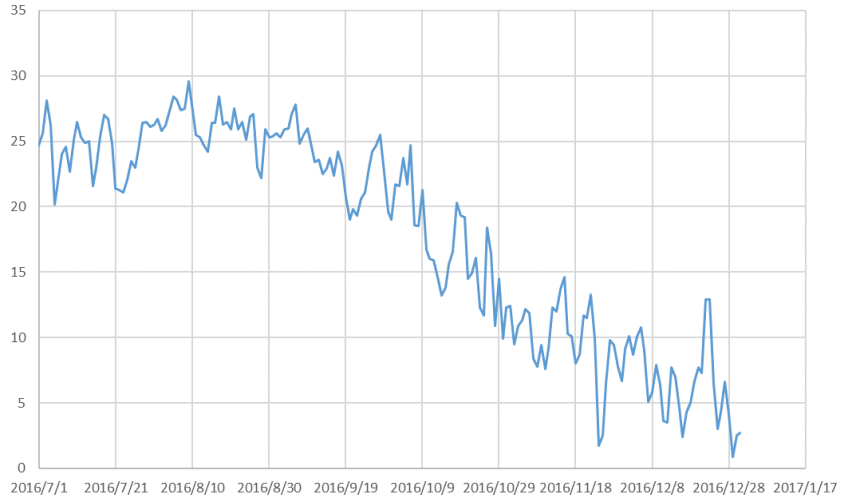
　－累積降水量：912.5

　－累積日射量：2224.8

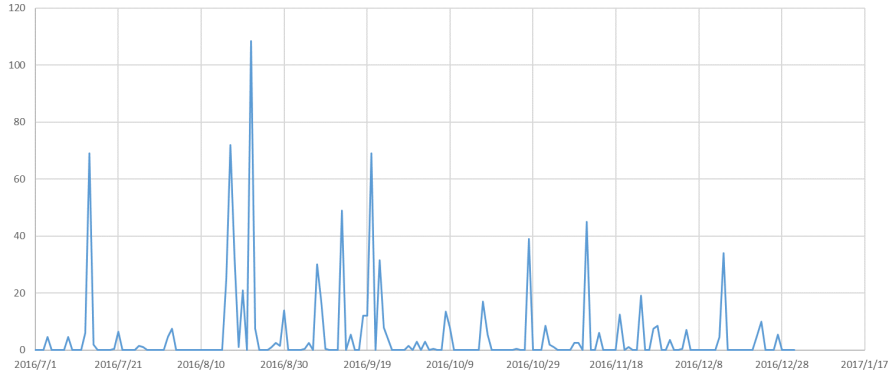
となる。

*気象庁>過去の地点気象データ・ダウンロード

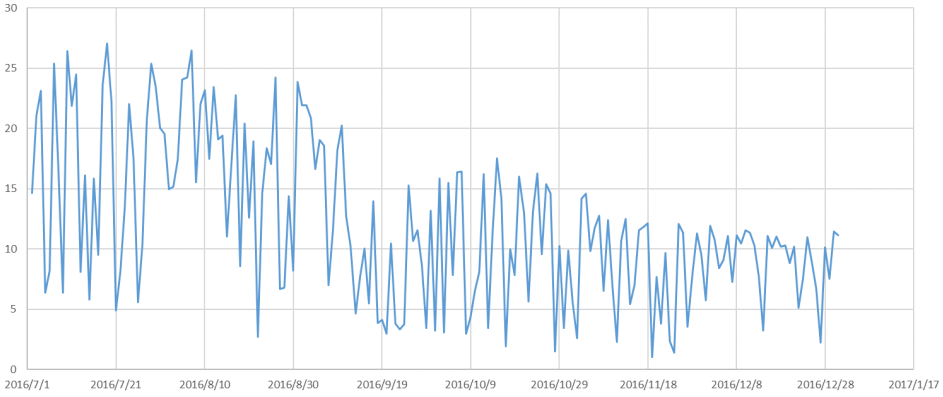
http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php



（a）　日平均気温（℃）



（b）　日降水量（mm）



（c）　合計全天日射量（MJ/m²）

図 3.4　2016 年 7 月 1 日から 12 月 31 日までのつくばの気象データ

3.3.2　入力する木材画像

入力する木材画像は、暴露前の木材をスキャナーで取り込んだものとなる。その例を図 3.5 に示す。

画像は AdobeRGB*形式であることとする。これは後述する RGB から L*a*b* への変換処理に必要となる。

* Adobe Systems： “Adobe® RGB (1998) Color Image Encoding”、 Version 2005-05, Adobe Systems Inc., San Jose, CA、 2005, pp.1-20 (http://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/AdobeRGB1998.pdf)

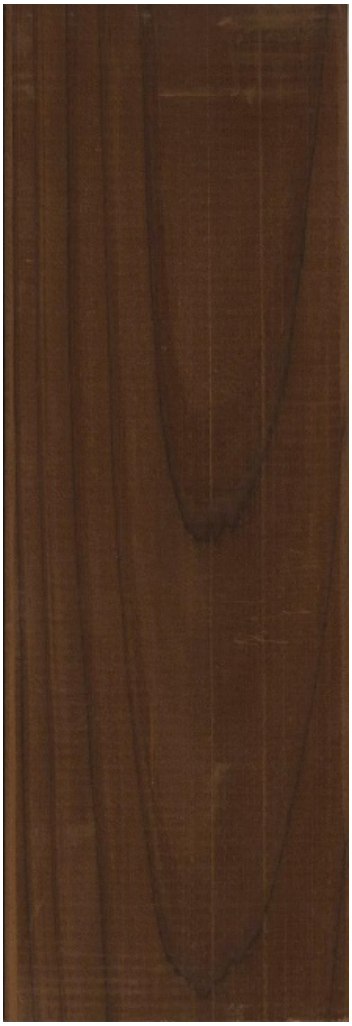


図 3.5　スキャナーにより取り込んだ暴露前木材画像

3.3.3　木材色予測式

木材色予測式は、3.3.1 にて述べた気象データを入力することで L*a*b*それぞれの予測色変化量を算出することができる式である。これは式（1）のように示される。

$$
\begin{aligned}
L^*\text{predicted} &= At + Br + Cs + D \\
a^*\text{predicted} &= Et + Fr + Gs + H \\
b^*\text{predicted} &= It + Jr + Ks + L
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

ここで、L^*predicted、a^*predicted、b^*predicted は予測された L*a*b*各値、t、r、s は 3.3.1 で述べた気象データである累積気温、累積降水量、累積日射量、A～L は暴露試験における木材の色と気象データの回帰分析によって得た係数である。

今回、A～L の係数の算出は次のように行った。

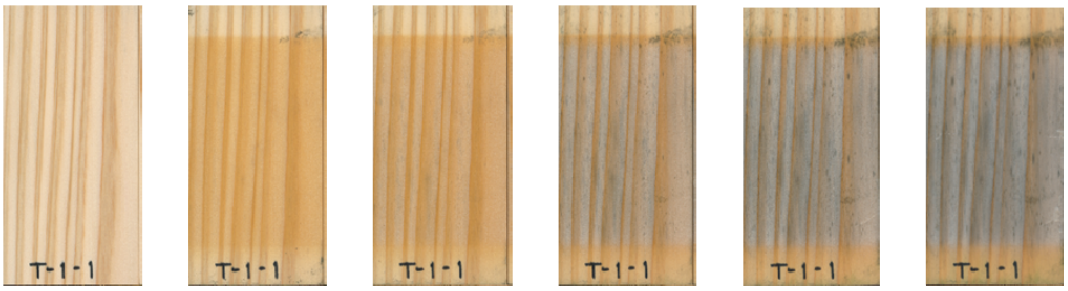
説明変数を、暴露試験地つくばの暴露期間中の

・平均気温
・降水量
・全天日射量

目的変数を図 3.6 に示す木材のスキャン画像から得た

・L*値
・a*値
・b*値

として 1 次の回帰分析を行い、得られた回帰式の係数を A～L とした。回帰分析には Microsoft Excel を使用した。



（a）スギ辺材無処理（約 2 週間間隔）

（b）スギ心材無処理（約 2 週間間隔）

図 3.6　つくばでの暴露試験で得られた木材のスキャン画像

3.3.4　変色処理

変色処理の概要を図 3.7 に示す。

3.3.1 で述べた気象データを 3.3.3 で述べた木材色予測式に入力することで、木材がどの程度変色するか、値 *dL**、*da**、*db** を算出する。3.3.2 で述べた入力された木材画像の各画素を AdobeRGB 色空間から L*a*b*色空間へと変換し、*dL**、*da**、*db** を加算する。加算が終了した後、各画素を L*a*b*色空間から AdobeRGB へ戻すことで、出力画像が生成される。

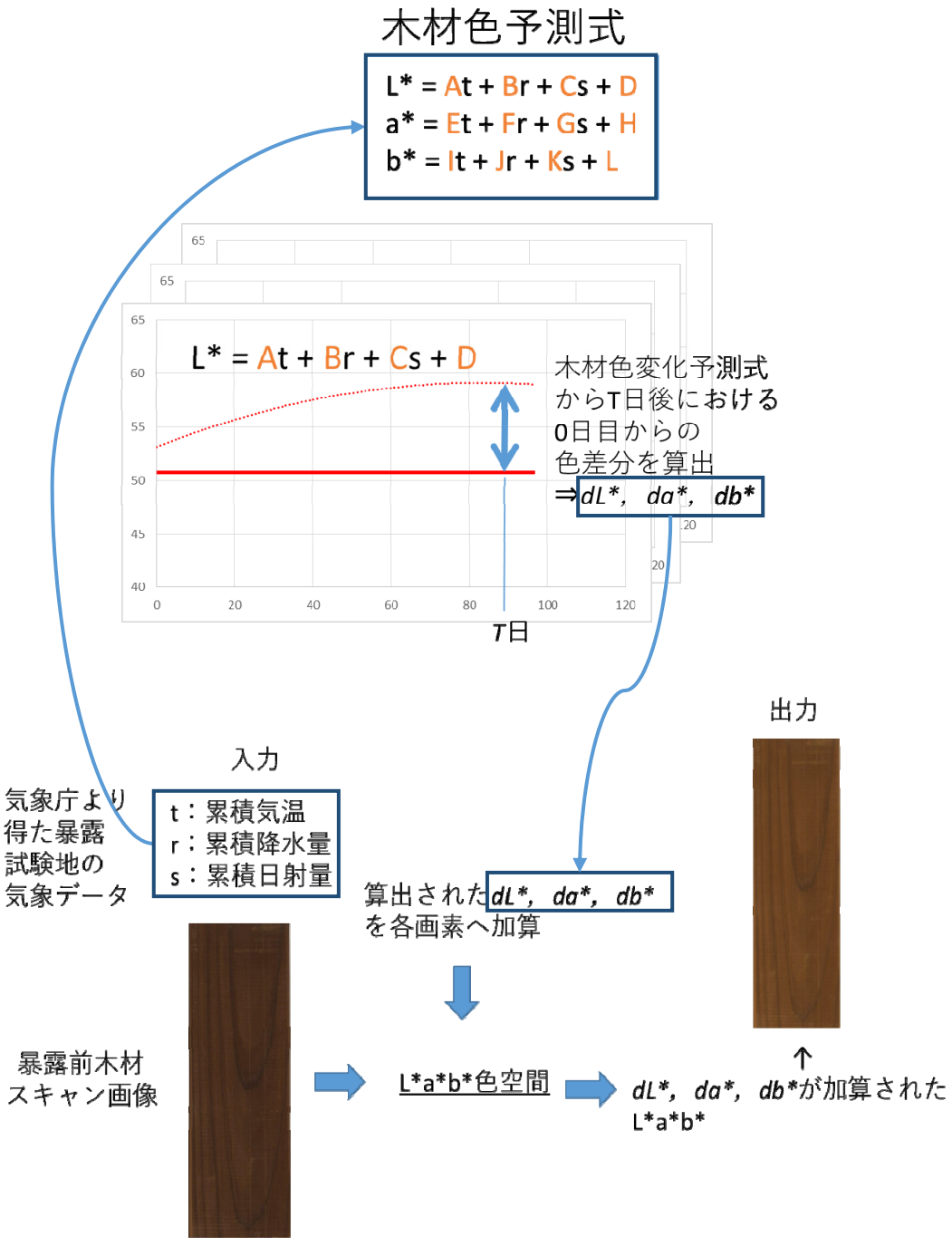

木材色予測式
L* = At + Br + Cs + D
a* = Et + Fr + Gs + H
b* = It + Jr + Ks + L
L* = At + Br + Cs + D
木材色変化予測式
からT日後における
0日目からの
色差分を算出
⇒dL*, da*, db*
T日
出力
入力
気象庁より
得た暴露
試験地の
気象データ
t：累積気温
r：累積降水量
s：累積日射量
算出されたdL*, da*, db*
を各画素へ加算
暴露前木材
スキャン画像
L*a*b*色空間
dL*, da*, db*が加算された
L*a*b*

図 3.7　変色処理の概要

3.4　シミュレーション結果

今回は、3.3.3 で述べたつくばの木材色予測式を使用し、図 3.8 に示す全国 6 か所各地点の暴露試験期間の気象データと、暴露前木材画像を提案するシステムに入力し得られたシミュレーション画像と、各地点の暴露試験によって得られた実際の試験片のスキャン画像を比較した。

試験片は、スギ辺材無処理、スギ心材無処理の 2 種類を対象とした。

図 3.9 から図 3.20 に暴露試験地 6 か所におけるスギ辺材無処理、スギ心材無処理のシミュレーション結果および実際の試験片の比較を示す。

図 3.8　暴露試験地域

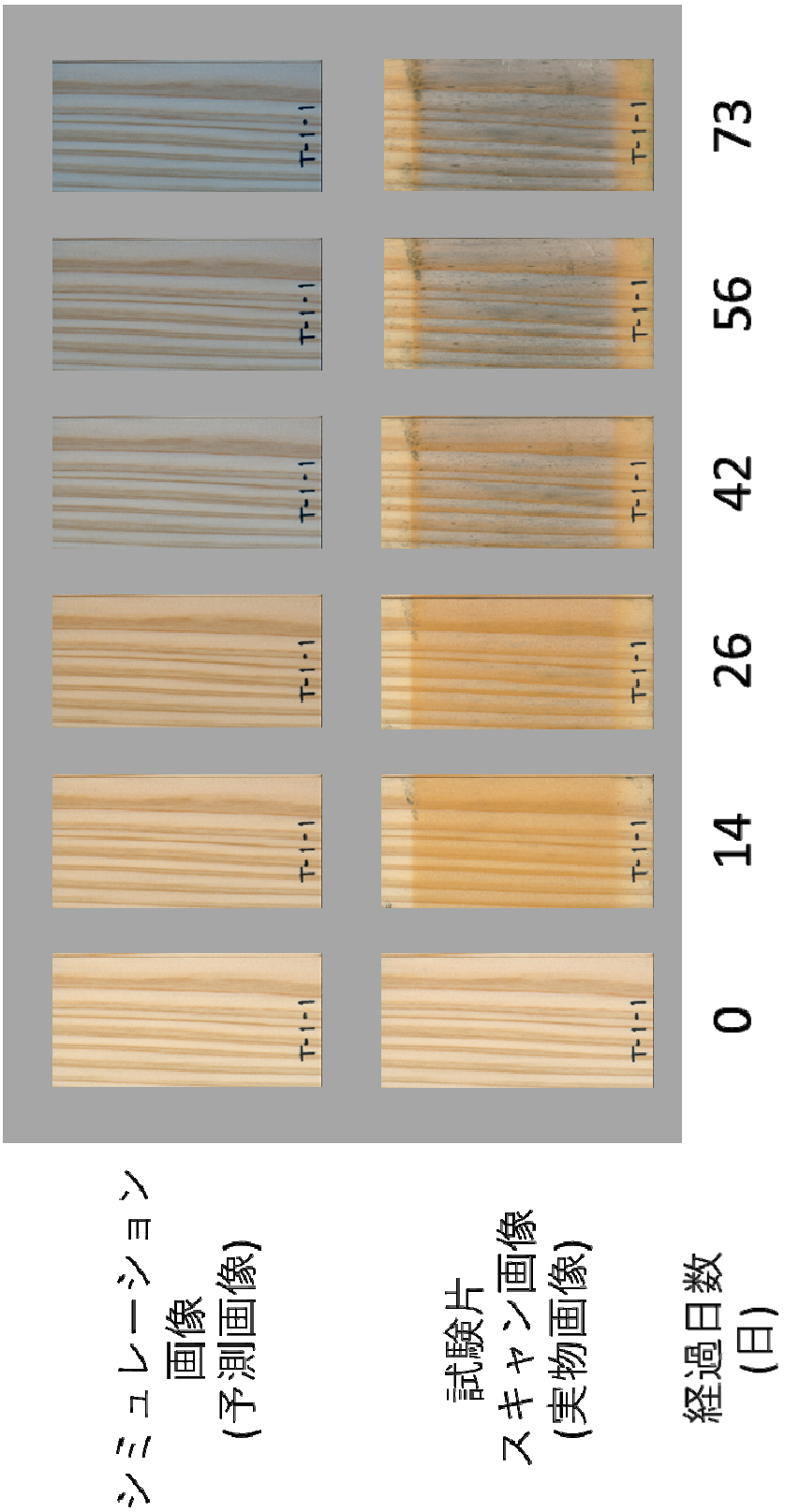


図 3.9　シミュレーション結果（つくば、スギ辺材）

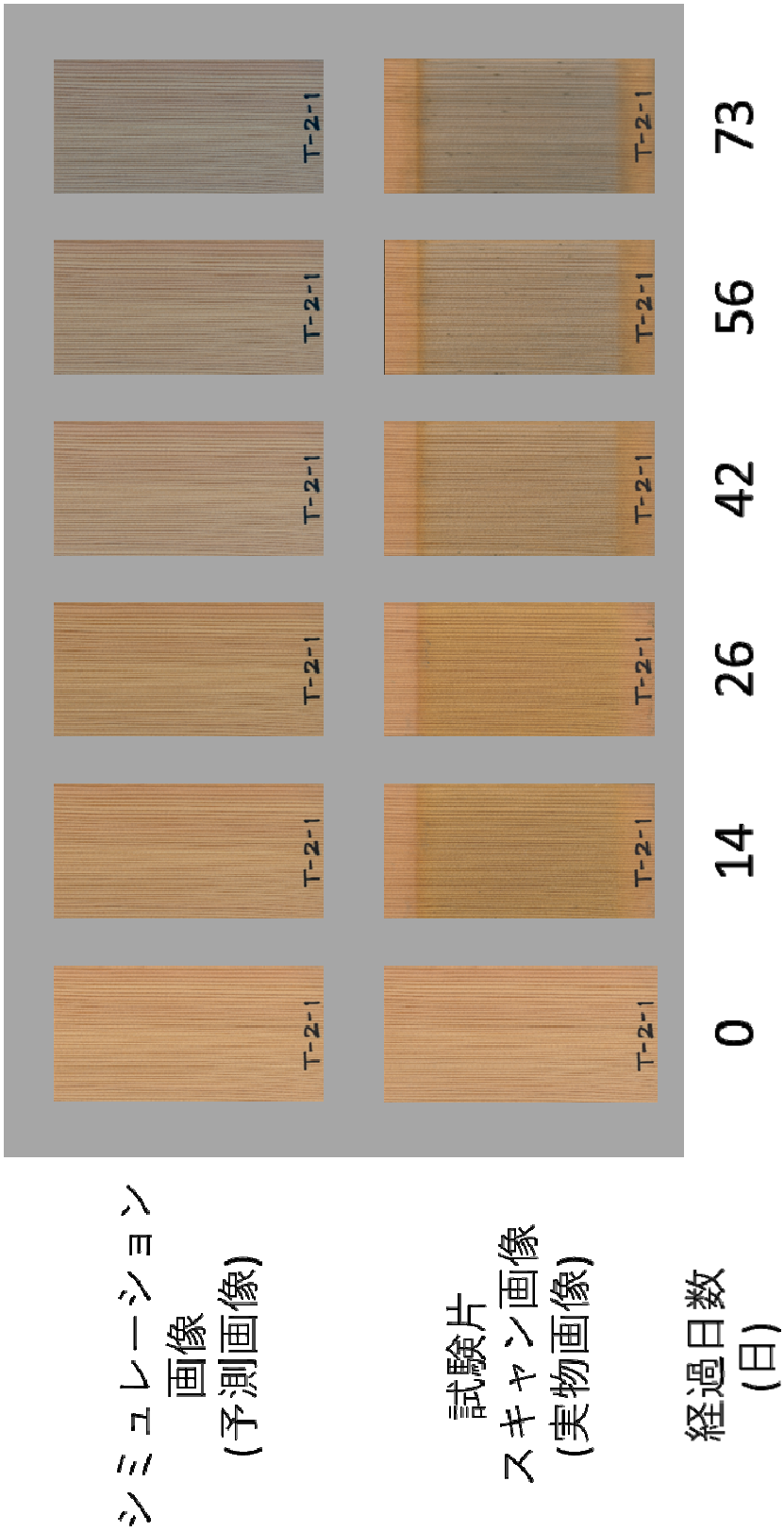


図 3.10　シミュレーション結果（つくば、スギ心材）

図 3.11　シミュレーション結果（熊本、スギ辺材）

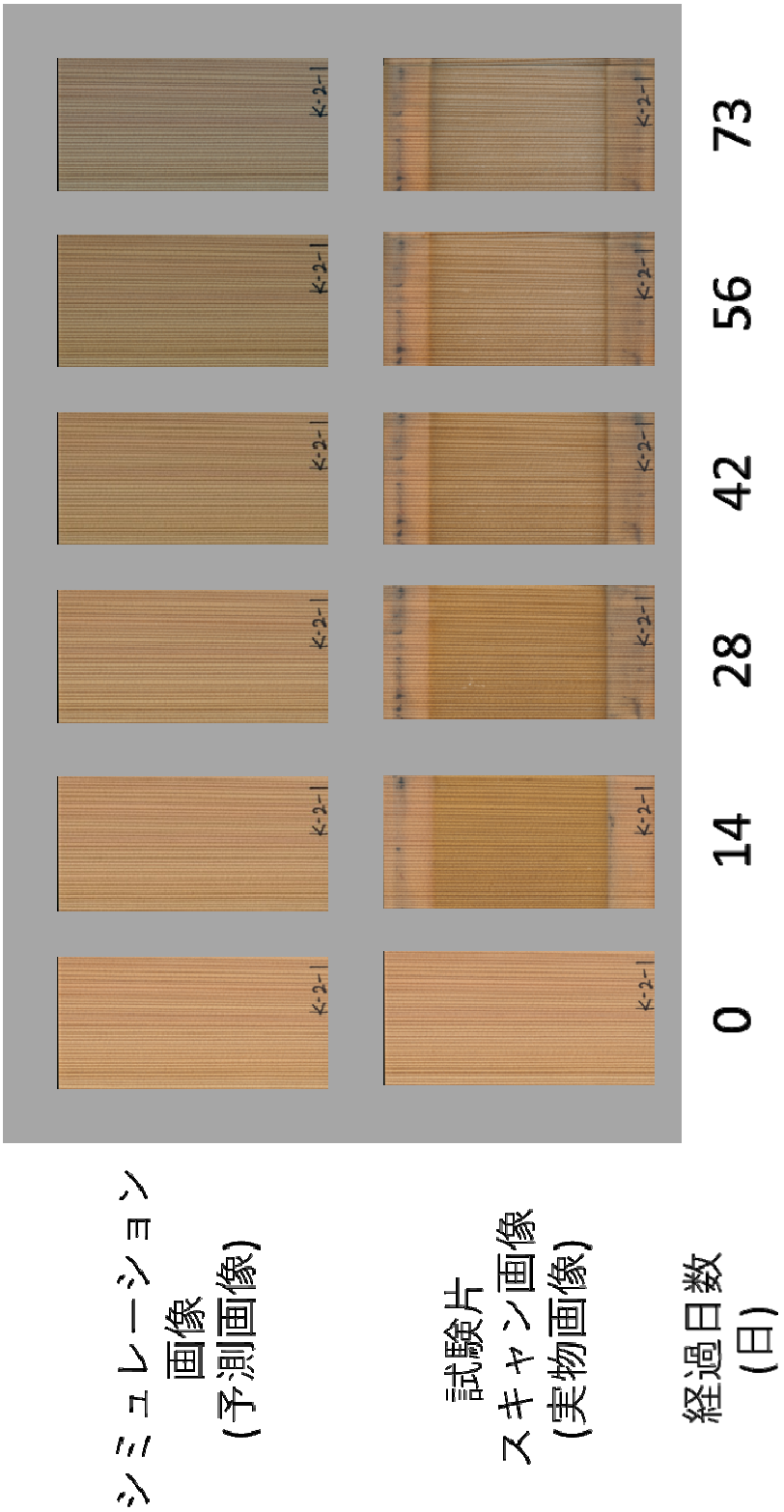


図 3.12　シミュレーション結果（熊本、スギ心材）

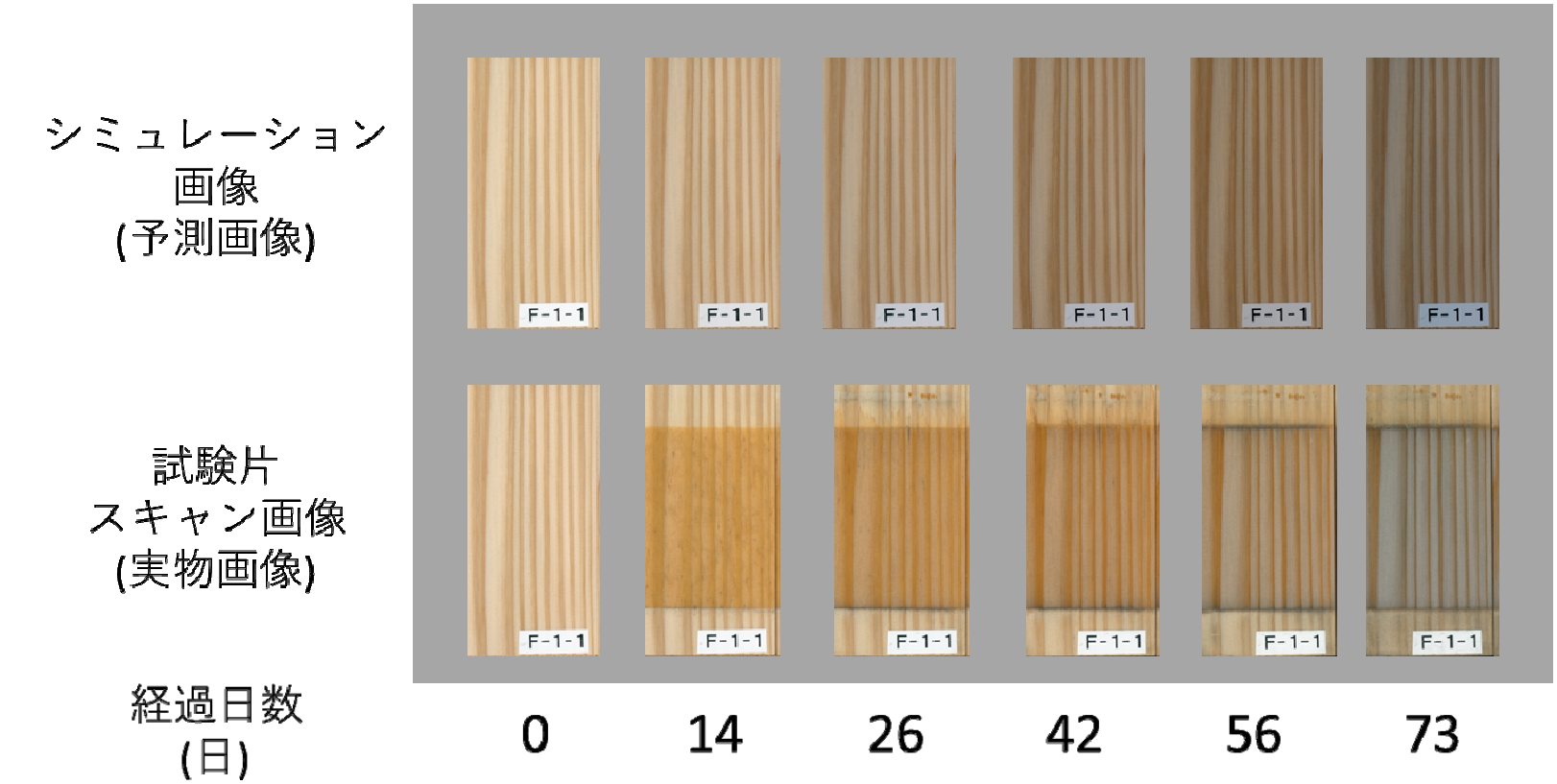


図 3.13　シミュレーション結果（福山、スギ辺材）

図 3.14　シミュレーション結果（福山、スギ心材）

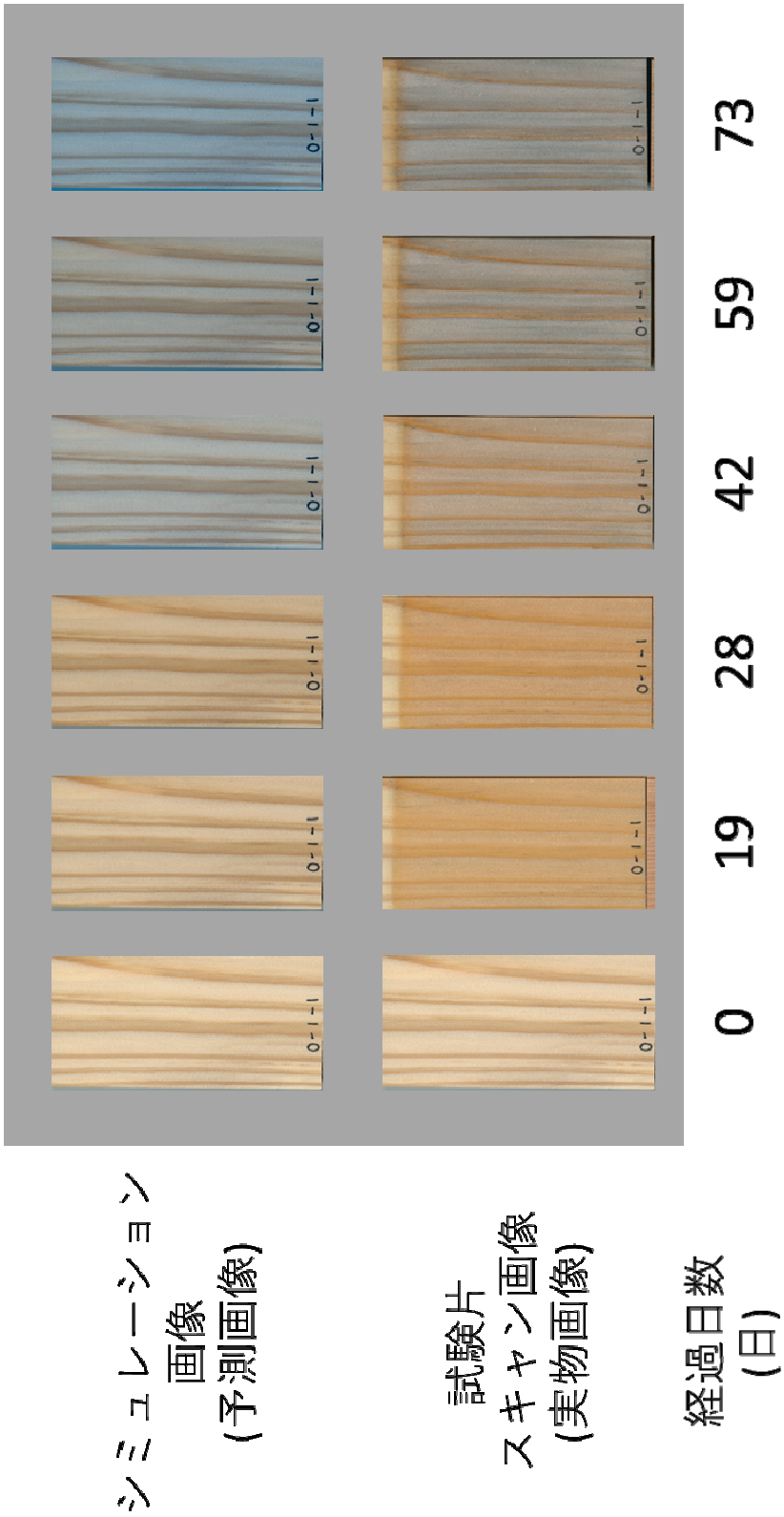


図 3.15　シミュレーション結果（江東区、スギ辺材）

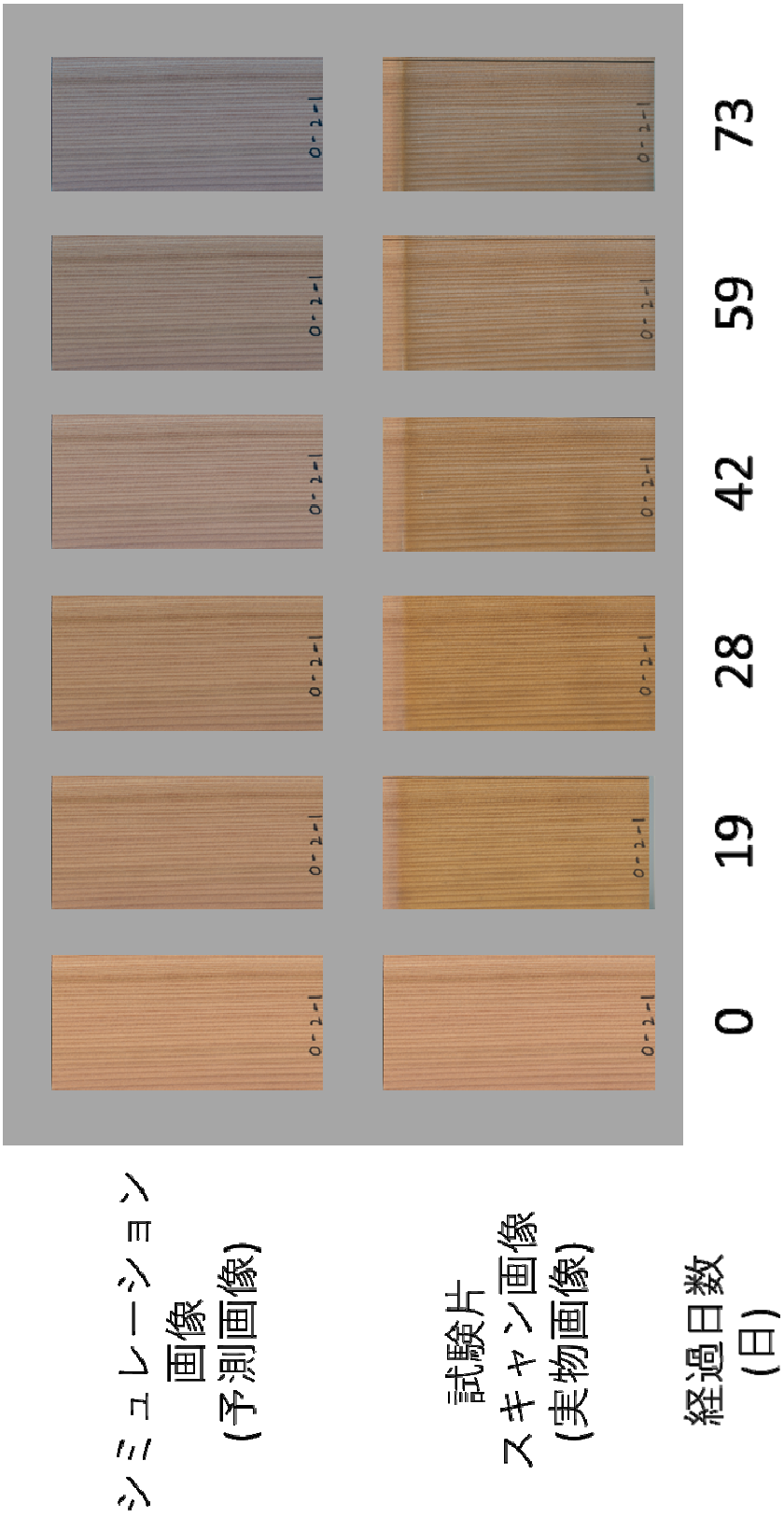


図 3.16　シミュレーション結果（江東区、スギ心材）

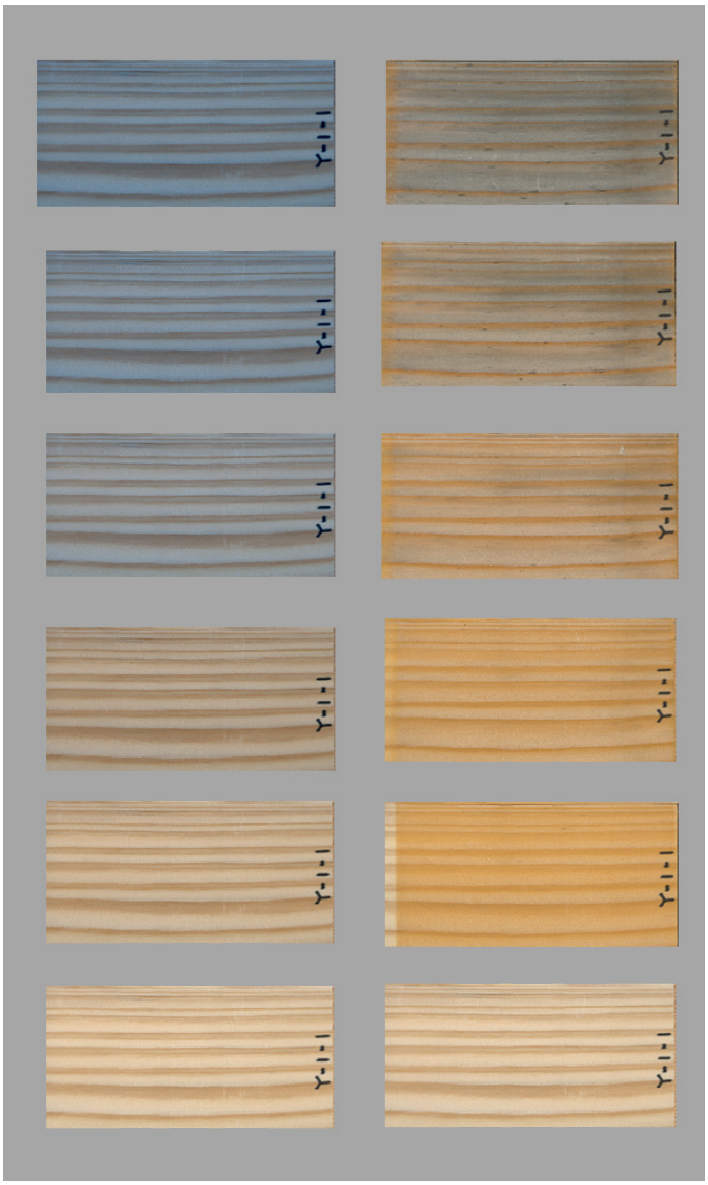


図 3.17　シミュレーション結果（山形、スギ辺材）

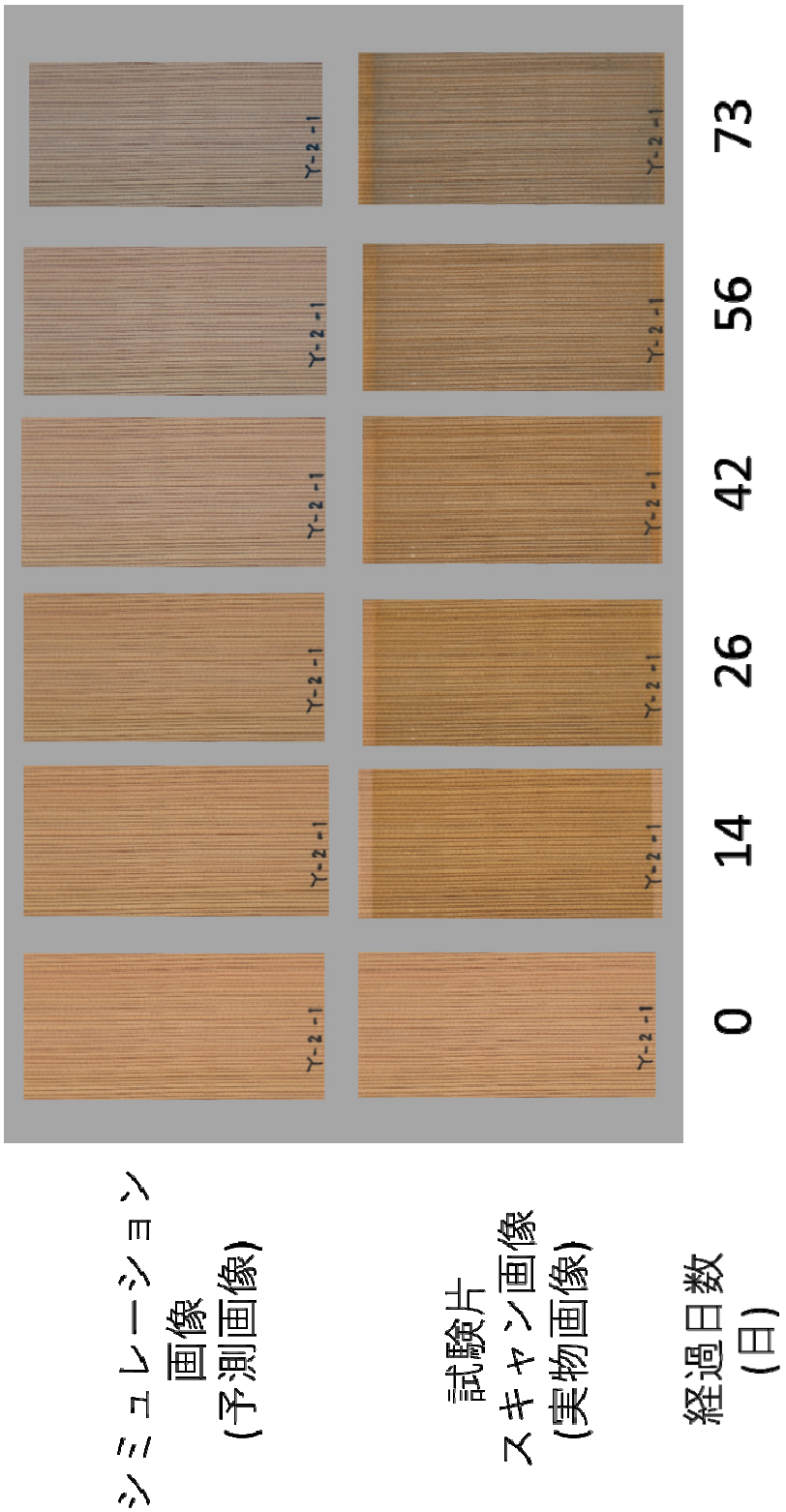


図 3.18　シミュレーション結果（山形、スギ心材）

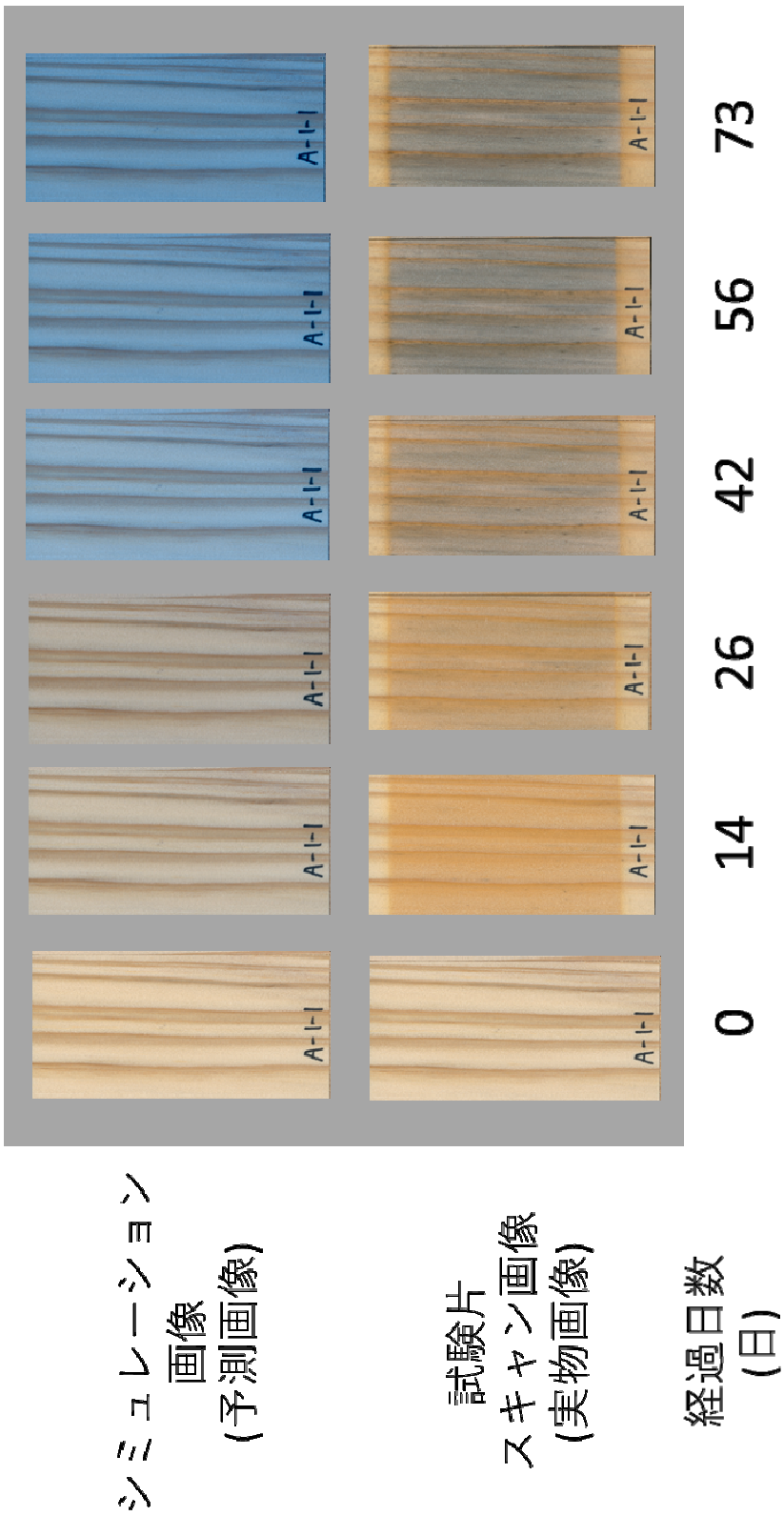


図 3.19　シミュレーション結果（旭川、スギ辺材）

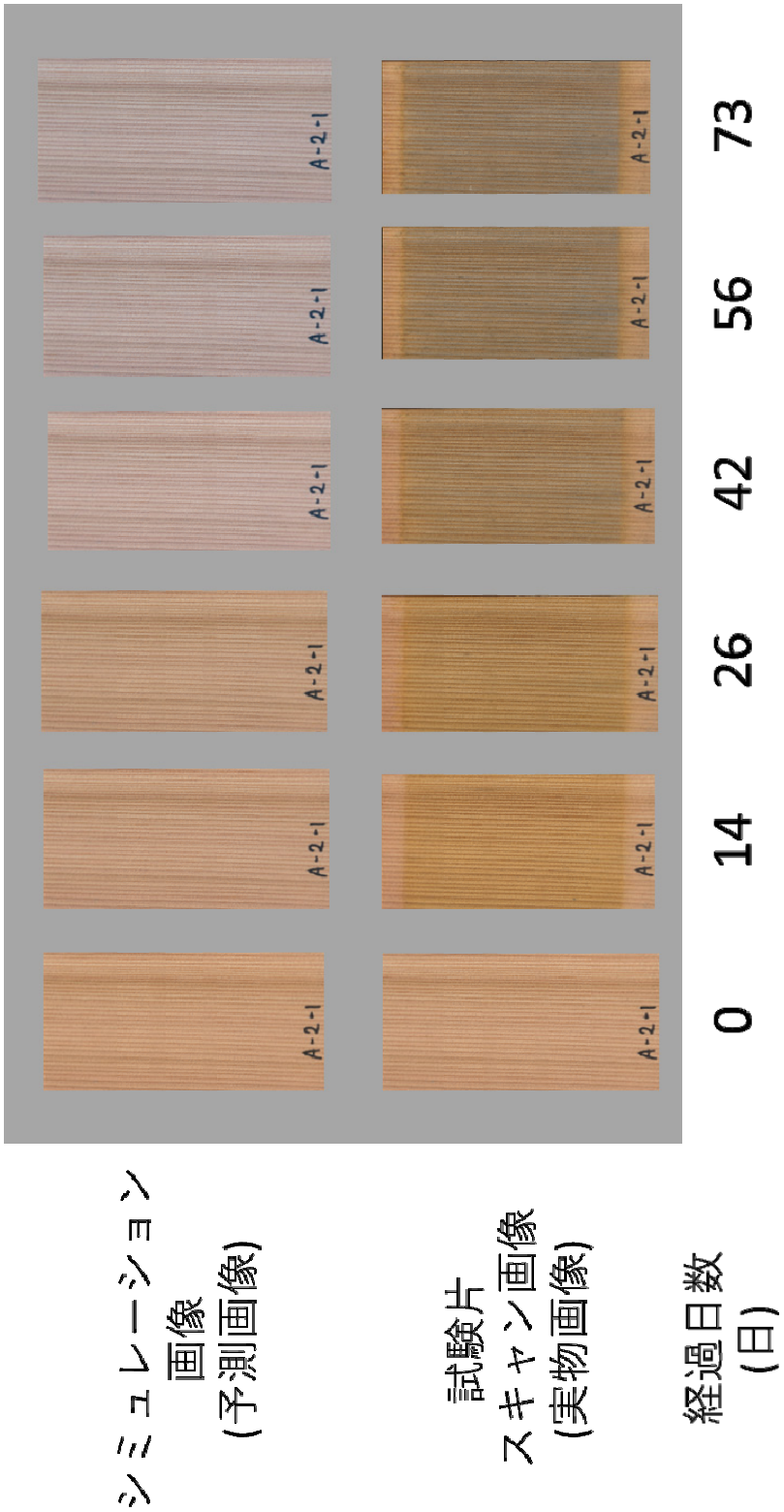


図 3.20　シミュレーション結果（旭川、スギ心材）

3.5　シミュレーション結果の考察

図 3.9 から図 3.20 の結果を、スギ辺材無処理、スギ心材無処理に分け、地図と共にした図を図 3.21、図 3.22 に示す。

図 3.21 と図 3.22 から、今回、木材色予測式として使用したつくばを基準に、南の地域ではシミュレーション結果が良好であるが、北の地域ではシミュレーション結果があまり良好ではないことが分かる。特に図 3.21 に示した辺材では、旭川においてシミュレーション結果が青みをおびており、実際の試験片画像とのかい離が大きい。図 3.22 の心材でも、南の地域では良好な結果であるが、旭川では、同じ灰色でも、シミュレーション結果は白に近い灰色となり、試験片画像とのかい離が大きい。

今回、つくばで算出した木材色予測式を使用してシミュレーションを行った結果、旭川では気候が大きく異なることから、予測精度が下がったと考えられる。今後の対応としては、旭川、熊本等地域別の木材色予測式を使用することで、予測精度を向上させることができると考える。

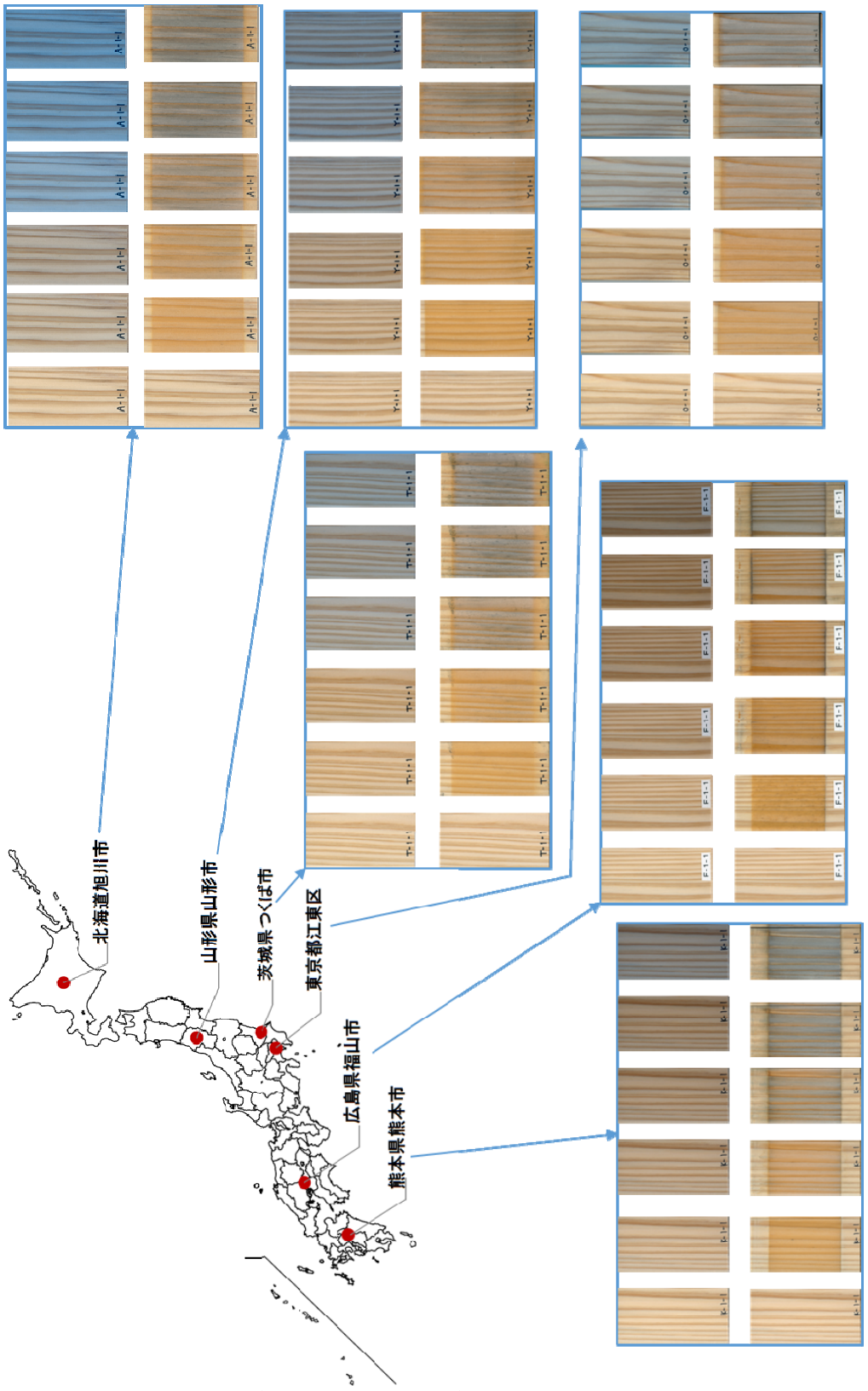


図 3.21　シミュレーション結果一覧（スギ辺材）

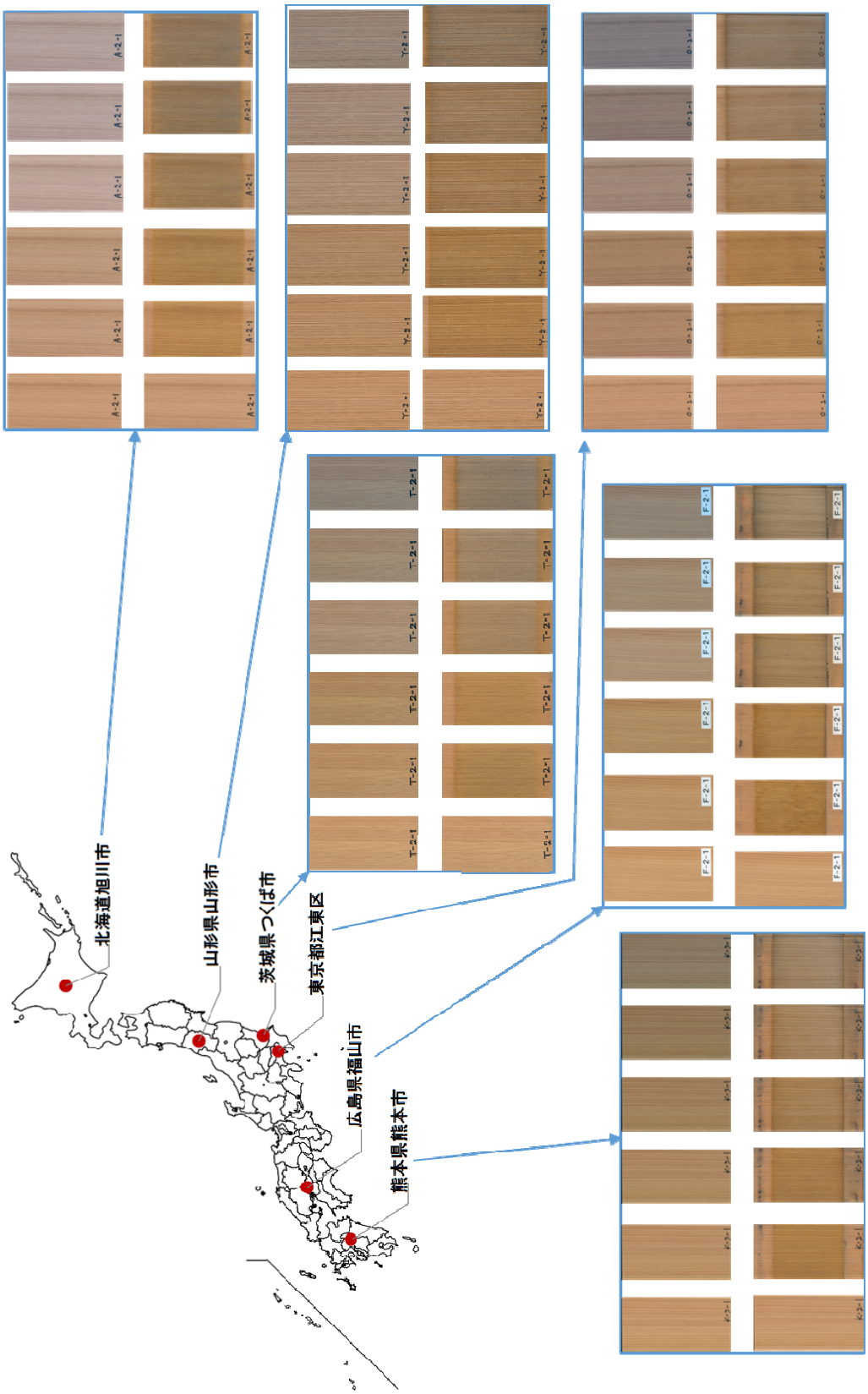


図 3.21　シミュレーション結果一覧（スギ心材）

3.6　3D モデルを利用した気象因子変化による色変化予測

例えば、地面付近に設置された木材は、地面ではねた雨があたる。また軒下に設置された木材は、雨があたりにくく、また日差しが当たりにくい。これにより、同じ方角の壁面に設置された木材でも、位置、周囲の環境により気象因子が変化し、色の変化が異なる。例を図 3.22 に示す。

この現象をシミュレーションするため、本シミュレーションの応用として、仮想的な建築物の 3D モデルを使用し、建築物各場所における気象因子の変化を事前に計算することで、気象因子の値を変化させる手法をここで述べる。

図 3.23 に示すように、3D モデルから、日射の遮蔽や水の跳ね返りを自動的に算出できる。その結果に応じて本シミュレーションに入力する気象因子の値を増減することによって、同じ方角の壁面に設置された木材でも異なる色となる現象をシミュレーションできる。シミュレーション結果の例を図 3.24 に示す。

図 3.22　同じ方角の壁面でも木材の色が異なる例

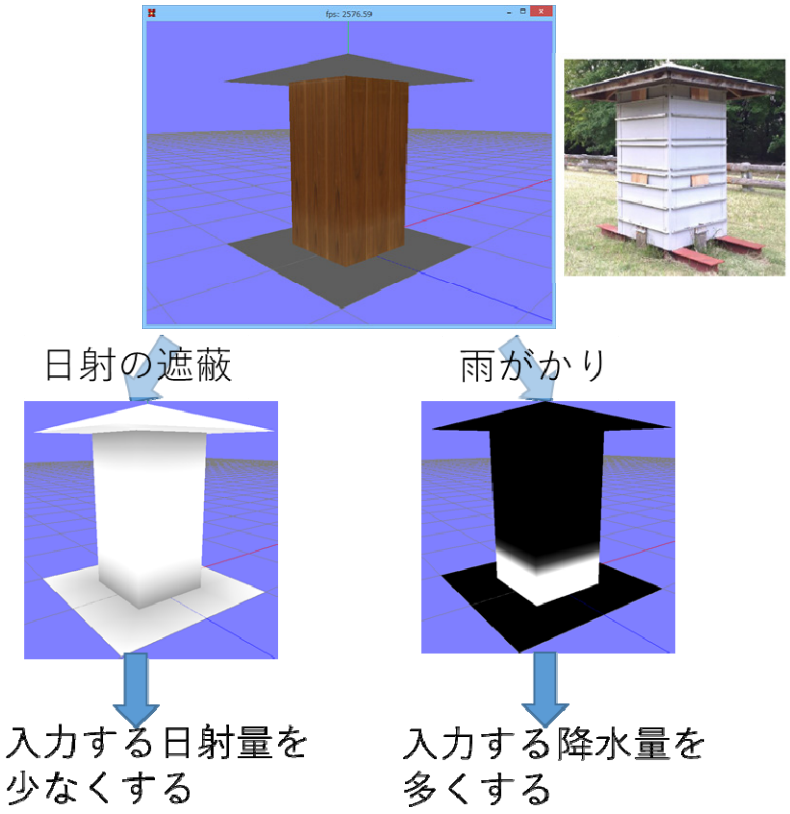
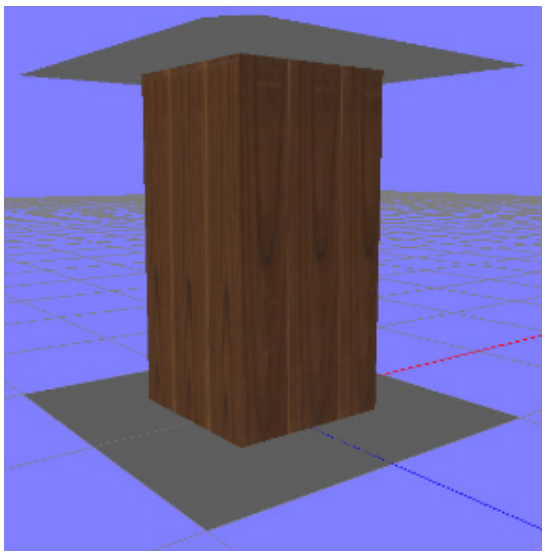
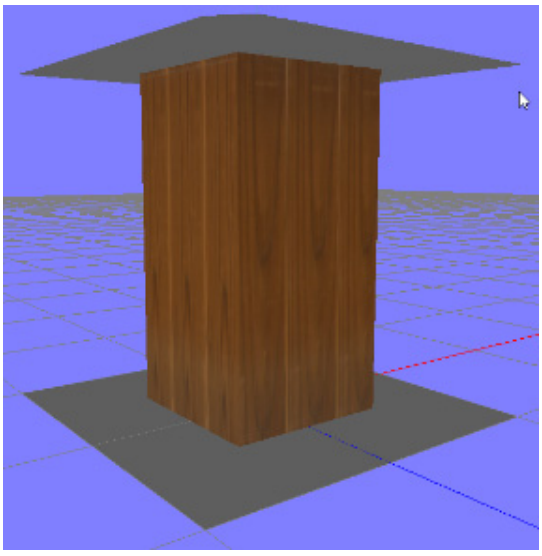


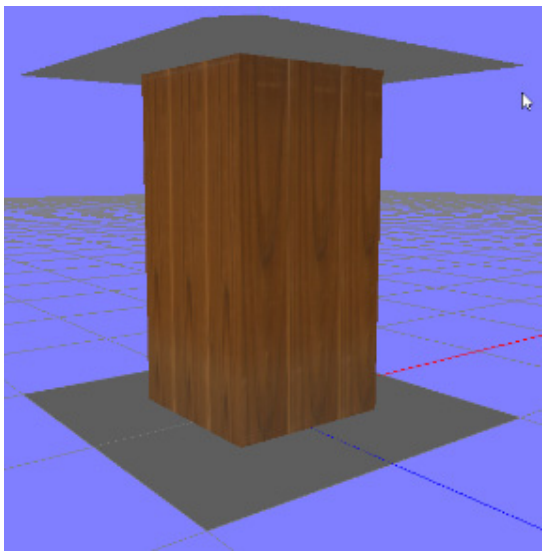
図 3.23　3D モデルを利用した気象因子の増減



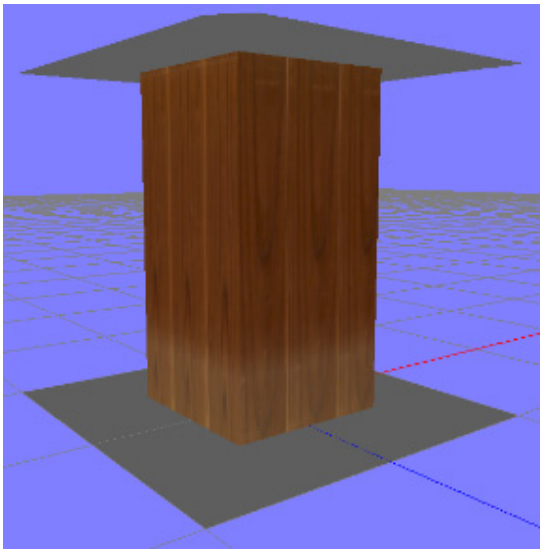
(a) 暴露開始前



(b) 約 110 日後



(c) 約 220 日後



(d) 約 430 日後

図 3.24　3D モデルを使用した色変化シミュレーション例

3.7　まとめ

これまで、暴露期間中の、累計日平均気温、累計降水量、累計全天日射量とシミュレーション対象の木材画像を入力することで、暴露後の色変化予測画像を生成するシステムを提案し、その結果と考察について述べた。

また、3D モデルから建造物各箇所での気象因子の変化を推定し、異なる色変化予測画像を生成可能であることも示した。

今後は予測精度の向上が課題として挙げられる。今回提案したシミュレーションシステムでは、つくばで得られた木材色予測式によって、全国の木材の色変化シミュレーションをおこなったが、例えば、図 3.25 に示すように過去の研究において報告されているクライメートインデックスを基に、木材色予測式を地域によって変更することで、予測精度を向上させることができると考える。更に、3.6 で述べた 3D モデルを利用した気象因子変化による色変化予測においても、3D モデルという仮想的な環境で求めた気象因子の変化量を現実の空間と対応付けることで、予測精度を向上させることができると考えられることから、次の機会に実施したい。

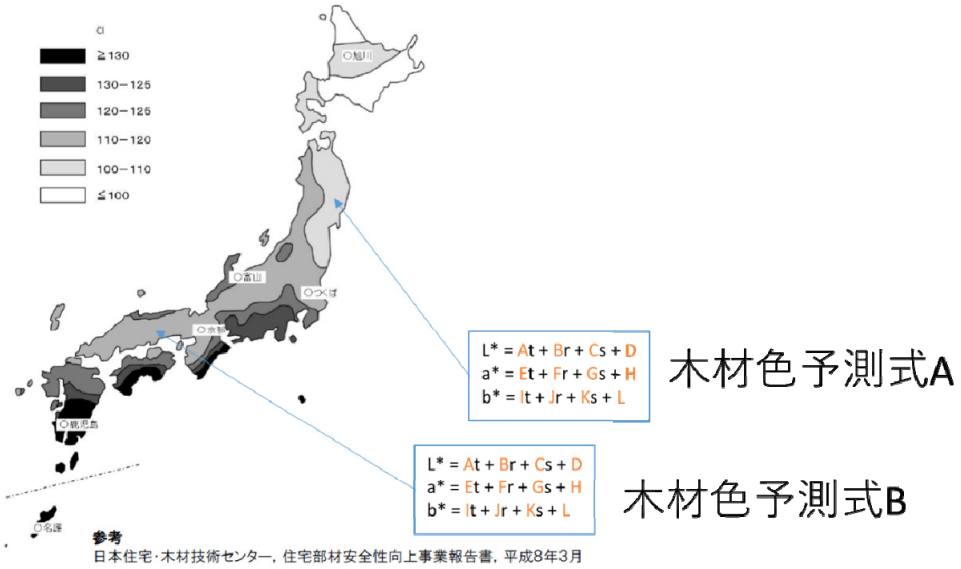


図 3.25　クライメートインデックスによる木材色予測式の変更

第 4 章　メンテナンス手引きの作成

本章では、前章までの成果を活用することにより、既往のメンテナンス手引きの抱える問題点を改善し、より効果的・効率的なメンテナンスの実施を可能にする新たな手引きを提案する。

このため、4.1 では、既往のメンテナンス手引きの課題点と、その改善に向けた本事業の取り組みを示す。また 4.2 では、新たな手引き書に活用するため、木材の気象劣化メカニズム、木材の保護及びメンテナンス技術に関する最新の知見をとりまとめる。これらの成果を踏まえ、4.3 では、新たなメンテナンス手引き（案）を提示し（図 4.1～4.6)、さらに 4.4 では、シミュレーション技術を活用した新たなメンテナスの方向性を示すこととする（図 4.7)。

4.1　これからのメンテナンス手引きに求められること

屋外で使用された木材には、太陽光、風雨など気象因子や、カビなど汚染因子が複合的に作用し、変色、割れ、浸食などが生じる。このような変化は、しばしば木材の経年の味わいとして好まれることもあるが、その変化の程度によっては美観の低下として問題視されることになる。特に施工後 1～２年で生じる初期の変色や劣化は、負のイメージを与えやすい。

そのような問題の発生を避け、安心して木材を利用してもらうため、新たなメンテナス手引きでは､以下の４つのポイントをわかりやすく示すこととした。①木材の気象劣化メカニズム、②シミュレーションによる変色予測のメリット、③建物の構造や塗装によって木材を保護する方法、④点検や塗り替えによって保護効果を維持する方法、である。

既往のメンテナンス手引きは、これらのポイントをどのように記述してきたのだろうか。①については、木材の気象劣化メカニズムに関する知見が示されていたが、本事業のように全国規模での実験により裏付けられたものではなかった。②については、経年変化をシミュレーションする技術がこれまで導入されていなかった。③については、軒など建物の構造による保護に関する説明が不足していた。このため④についても十分とは言えない部分が残されていた。

本事業では、これらの課題点の改善と、より効果的なメンテナンスの実現に向け、以下の取り組みを行い、その成果を新たな手引き（案）に反映させた（図 4.1～4.6)。①については 2 章のとおり、経年変化のメカニズムが全国共通であることを確認した。②については 3 章のとおり、気象データから木材の変色を説明する技術を進展させ、地域別のシミュレーションを可能とした。③については 1 章のとおり、軒の出の有無などが木材の変色に及ぼす影響を示した。一方、④については試験開始後 1 年を経過しておらず塗装面の劣化が生じていないため、今後の評価の継続が必要である。

4.2　木材の気象劣化の評価とメンテナンス技術の向上

本節では、新たな手引き（案）に活用するため、木材の気象劣化メカニズム、保護及びメンテナンス技術に関する最新の知見を以下のように取りまとめた。取りまとめにあたっては、既往の知見に加え、本事業で得られた気象劣化の評価結果を活用した。

4.2.1　気象劣化メカニズム

木材を日当たりや雨がかりの多い環境で使用すると、早ければ数日のうちに紫外線による表面の変色が顕在化する。そして数か月のうちに微細な割れが発生し、半年から 1 年後には色調が灰色になる。このような木材の外観変化は、以下の 4 つのステージに分けることができる。なお、本メカニズムについては、4.3 節のメンテナンス手引き（案）P2「変化のパターンを知りましょう」に図説を掲載した（図 4.2)。

①　光変色期（ステージ 1)

光変色は、木材を太陽光に暴露した時点で始まる。これは主に紫外線によって木材成分が変性・分解され、材面が変色する現象である。日当たりが多い場合は、数日のうちに変色が顕在化する。多くの樹種の辺材、及び心材であってもヒノキのように比較的淡色な材は、この時期に暗・濃色化を起こしやすい。典型的には、リグニンの光酸化反応で着色構造が形成され、明るさが減少し、赤みと黄みが増加する。一方、元々濃色の心材は、抽出成分の影響も大きいため、変色の傾向は樹種によって様々であり、淡色化するケースもある。

②　明・淡色化期（ステージ 2)

光酸化反応の進行に伴い、リグニンや抽出成分が低分子化して雨水などに溶出する段階である。着色構造が分解・溶出するため、多くの樹種では辺・心材ともに明るさが一旦増加し、赤みと黄みが減少する傾向が見られる。但し次のステージ 3 への移行が早い場合には､明るさの増加が顕在化しないこともある。日当たりや雨掛りが多い場合、暴露開始 2、3 か月後には明・淡色化に至るが、軒天など雨掛りがほとんどない環境では、ステージ 1 が緩やかに進行し、明・淡色化に移行しないケースもある。

③　灰色化期（ステージ 3)

前ステージで明・淡色化しつつある材面に、カビや大気汚染物質など黒色系の汚染が加わり、白色化と黒色化の効果が相まって灰色化する段階である。日当たりや雨掛りが多い場合、暴露開始の 2、3 か月後からカビが散見され、半年から 1 年程度で灰色化に至る。カビ汚染は光酸化した木材の成分が栄養分になると考えられており、太陽光を浴びる東、南、西面で発生しやすい。一方、北面は、カビ汚染よりも藻類汚染が問題となりやすい。

④　凹凸化期（ステージ 4)

ステージ 2 や 3 に達した木材は表層の強度が低下するため、雨水や砂塵等の浸食作用を受けやすくなる。浸食速度は、木材の密度に反比例するため、密度の低い早材は、密度の高い晩材よりも先に浸食される。このため、年輪ごとに早材部が目やせし、凹凸に富んだ表面になる。

4.2.2　地域差

木材の気象劣化の地域差については、過去に全国 6 か所でスギ薄単板が屋外暴露され、その際の質量減少率と、各地域の平均気温、降水日数、日射量など気象因子との関係から気象劣化指数（CI）が試算されたことがある。九州南部の CI が北海道の約 1.5 倍に達するなど、浸食速度に地域差があることが示された。

一方、変色に関してはこれまで知見がなかったが、本事業では、第 3 章のとおり、各地の気象因子と変色との関係を解析し、地域別の変色シミュレーションが可能であることを示した。地域によって気象因子の積算値が異なるため変色の速度も異なる。今後、各気象因子と色パラメータとの相関を精密解析することにより、地域別の変色シミュレーション精度が高まることが期待される。

なお変色シミュレーションに関しては、4.3 節のメンテナンス手引き（案）P3「変色のシミュレーションも可能です」に記載した（図 4.2)。

4.2.3　方位差

気象劣化の速度は方位によって異なる。これまで、紫外線量の多い南面の劣化速度が最大であり、東西面がそれに次ぐとされてきたが、変色の方位差に関するデータは得られていなかった。本事業では、第 2 章のとおり、東西面でも南面に匹敵する変色が生じること、北面は他面の 80%程度の変色が生じることを示した。

なお方位差に関しては、4.3 節のメンテナンス手引き（案）P10「メンテナンスの注意点」に記載した（図 4.6)。

4.2.4　建物の構造による木材の保護

木材の気象劣化を抑制するには、気象因子の影響をある程度まで抑制する必要がある。具体的には、軒やけらばによって木材への日当たりや雨掛りを減らすこと、塗装によって木材の表面を保護すること、適切な維持管理を行うことなどが効果的である。本事業では、第 1 章のとおり、軒下から軒の出（50cm）の 2 倍分（100 cm）離れると保護効果は弱まること、それでも軒無しよりは変色が抑制されることを明らかにした。

なお軒の出の効果に関しては、4.3 節のメンテナンス手引き（案）P4「木材を保護する構造を考えましょう」(図 4.3)、及び P10「メンテナンスの注意点」(図 4.6）に記載した。

4.2.5　塗装による木材の保護

①　木材の外部用塗装の種類

木材の外部用塗装は、従来のペイント（ペンキ）塗りの後継種である隠ぺい型と、木目が見える木材保護塗料などの半透明型に大別される。隠ぺい型は、木材素地の光酸化をよく防げるが、木目が活かせないという短所がある。半透明型は、塗膜を形成する造膜形と素地に浸み込み塗膜の形成が目立たない含浸形に区別される。

造膜形は塗膜の存在によって木材を物理的に保護できる点に、含浸形は塗り替えが比較的容易な点にメリットがある。例えば、意匠性を重視する際には造膜形が、頻繁なメンテナンスが想定される際には含浸形が選択されることがある。

なお、塗装による保護に関しては、4.3節のメンテナンス手引き（案）P5「塗装にあたっての注意点」（図 4.4）、P6「隠ぺいする塗装と木目を見せる塗装」、及びP7「造膜形と含浸形」（図 4.4）に記載した。

②　耐用年数

塗装にあたっては、日本建築学会　M307 に適合する塗料を用いること、またJASS 18 を参照し、含水率18%以下、素地調整（汚れ除去、ヤニ止め等）、塗装工程、所定の塗布量を守ることが大切である。

耐用年数は、日当たりや雨掛りによって、また木材の前処理や塗装の種類によって異なるので一概には言えないが、着色（エナメル）造膜形は5～7年、半透明造膜形は3～5年、半透明含浸形は2～3年目までに最初の塗り替えを行うことが多いようである。なお含浸形や薄膜の造膜形は、使用中に生じた微細な割れへの浸透量が増えるため、2回目以降の塗り替え周期は上記の2倍程度に伸びることがある。

一方、耐用年数が上記よりも長くなるケースとして、熱処理や化学加工によって寸法安定化された木材、ラフソーン（粗鋸目）仕上げ等で表面浸透性が高められた木材、銅アミン錯体を含む木材保存薬剤で注入処理された木材を塗装した場合などがあげられる。但し前処理によっては塗料の発色に影響を及ぼすことがある。また前処理によっては木材表面の濡れ性が変化するため専用の塗料を必要とする場合がある。

なお塗装の耐用年数に関しては、4.3節のメンテナンス手引き（案）P8「塗膜のタイプと塗り替え」（図 4.5）に記載した。

③　メンテナンス

維持管理の年度計画に基づき、半年ごとに割れ、剥がれなど欠陥の発生状況を点検し、早めに対処することが重要である。造膜形の塗り替えにあたっては、劣化状況に応じ、既存塗料の除去、漂白処理、下地研磨などを行ってから再塗

装する。含浸形は重ね塗りできるが、既存塗料の除去後に再塗装する方がより良い性能が得られる。

塗替え時期の判断は、被塗物の保護をどの程度重視するのか、美観をどの程度まで要求するのかによって異なるが、造膜形の場合には塗膜に軽度の割れや剥離が発生する時期が、含浸形の場合には塗料の顔料が脱離し基材である木材素地が見え始める時期が、それぞれ塗替えを考慮すべき時期であるとされている。

なおメンテナンスについては、4.3 節のメンテナンス手引き（案）P9「維持管理計画の策定」（図 4.6）及び P10「メンテナンスの注意点」（図 4.6）に記載した。

4.3　メンテナンスの手引き（案）

以上の成果をもとに本事業が提案するメンテナンス手引き（案）を以下に示す（図 4.1～4.6）。特筆すべきは、本事業の成果である経年変化のシミュレーション技術を活用したことである。この技術の導入により、木材の経年による変色の具体的なイメージを、予め関係者が共有できるようになる。具体的なイメージを共有することでより現実的で効果的なメンテナンスの実施が可能になると期待される。

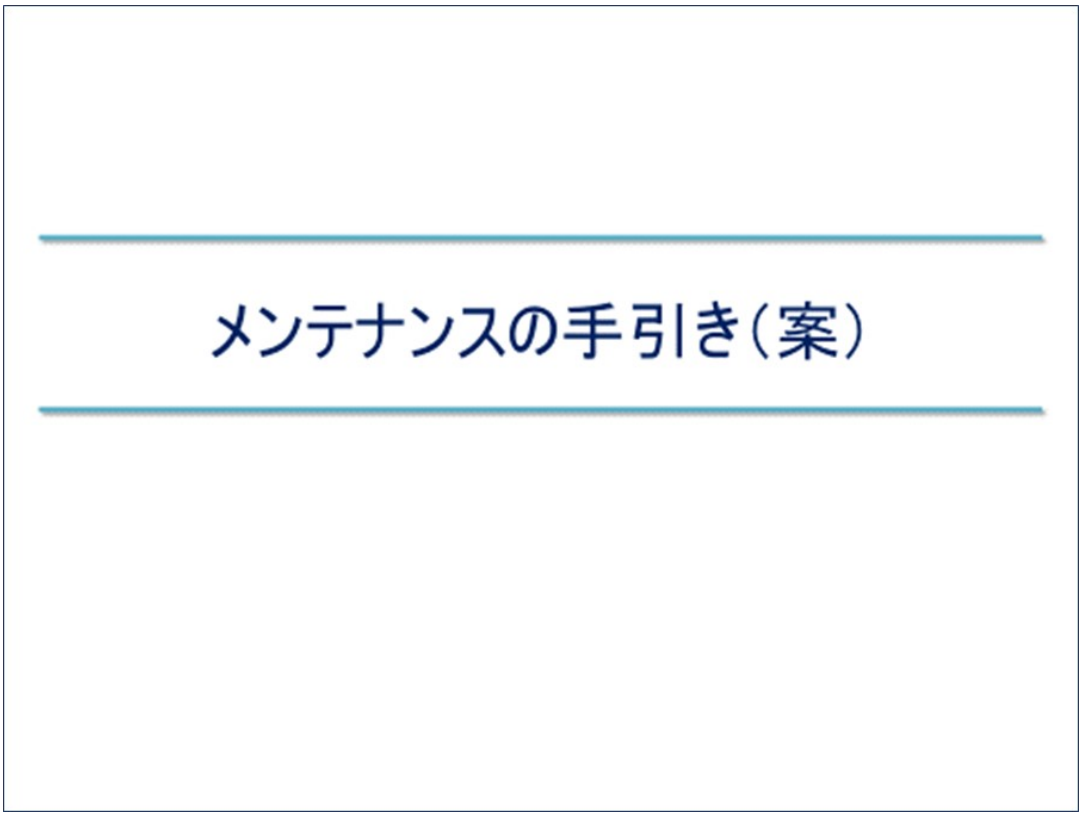


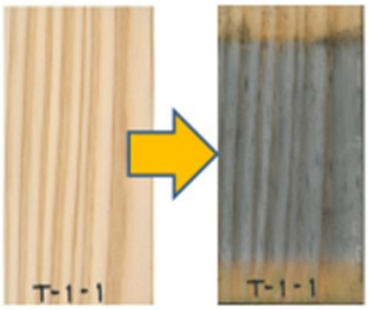
図 4.1 メンテナンスの手引き（案）表紙

1. 外構木材は経年変化します

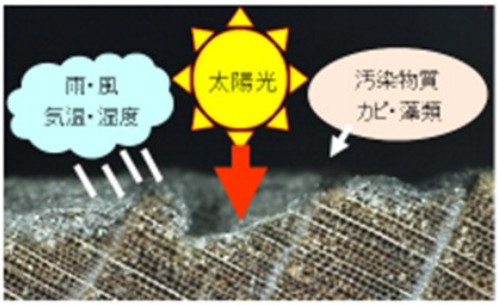
○ 無塗装の木材を、日光と雨水にさらすと、数日で変色し、数か月で灰色になります。また、数年で表面が浸食され凹凸化します。

○ これらの変化は、太陽光、風雨などの気象因子とカビなどによる汚染が複合的に作用したものです。

○ 木材の経年変化のパターンを知り、適切な保護とメンテナスを行えば、経年変化を味わいつつ木材を長持ちさせることができます。



屋外暴露前　半年後



灰色化した木材の断面

2. 変化のパターンを知りましょう

○ 経年変化は、①光酸化による濃色化（元々濃色の材は淡色化することも）、②光分解した成分が雨水で溶出し淡色化、③黒酵母菌の繁殖や黒色の汚染物質により灰色化、④浸食がゆっくり進行、の順に起こります。

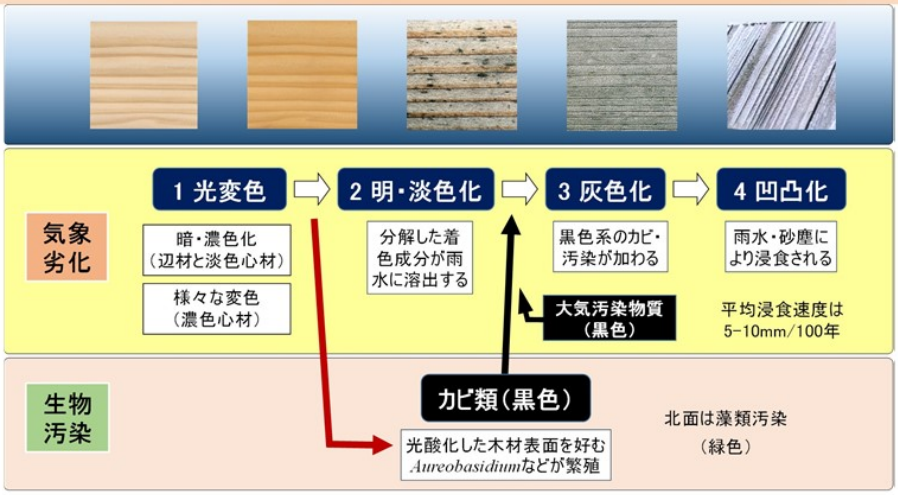
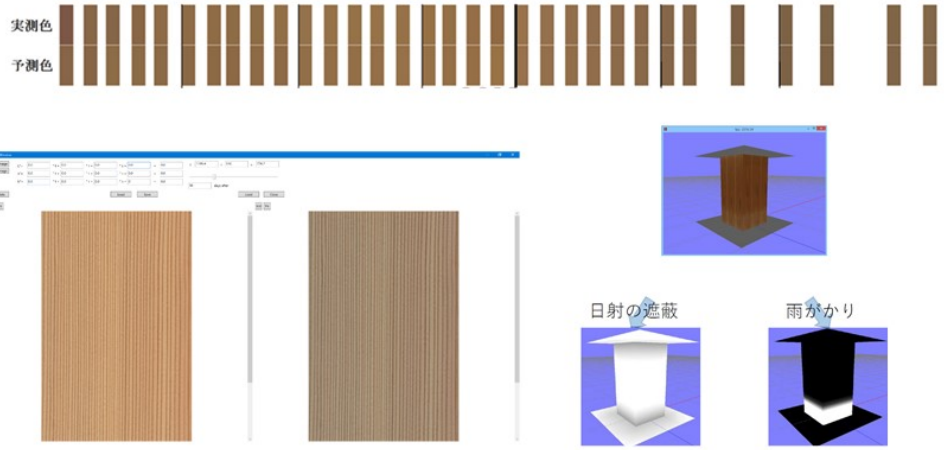


図 4.2 メンテナンスの手引き（案）P1-P2

3. 変色のシミュレーションも可能です

○ その地域の気象データから、経年変化による変色を予想することが可能です。詳細は、以下のURLにアクセスしてください。

○○○○○○○○○



4. 木材を保護する構造を考えましょう

○ 屋外で木材の変色や浸食を抑えるには、軒やけらばによって日当たりや雨掛りを減らすこと、および塗装によって保護することが重要です。

○ 適切に保護されると灰色化しません。但し、軒の出と軒からの距離の関係によって、保護効果が異なります。

図 4.3 メンテナンスの手引き（案）P3-P4

5. 塗装にあたっての注意点

○ 木材の変色や浸食を抑えるには、塗装による保護が効果的です。
○ 塗装は、日本建築学会建築工事標準仕様書（JASS 18 塗装工事）の仕様（下表）を参照し、木材含水率（18%以下）、素地調整（汚れや付着物の除去、研磨、ヤニ止め等）、塗装工程（塗り回数等）を適切に管理し、定められた塗布量を守ることが大切です。

表１．木材の外部用塗装仕様

透明・着色	塗装仕様
着色（エナメル）仕上げ（木目が見えない）	つや有り合成樹脂エマルションペイント塗り（EP-G） ・造膜形 ・耐候性が比較的高い
	合成樹脂調合ペイント塗り（SOP） ・造膜形
半透明仕上げ（木目を見せる）	木材保護塗料塗り（WP） ・含浸形または造膜形 ・防かび等の薬剤を含む
	ピグメントステイン塗り（ST） ・含浸形 ・防かび等の薬剤を含まない

6. 隠ぺいする塗装と木目を見せる塗装

○ 木材の外部用塗装は、素地表面を隠ぺいする着色（エナメル）仕上げと、木目の見える半透明仕上げとに大別されます。
○ 着色仕上げは、素地に不透明な塗膜を形成し、素地の光酸化や塗料の付着力低下を防ぎます。
○ 半透明仕上げは、半透明の塗膜を形成する造膜形と、素地に含浸して塗膜を形成しない含浸形に大別されます。どちらも木目が見えにくいほど素地の光酸化や塗料の付着力低下が起こりにくい傾向があります。

着色（エナメル）仕上げの例

半透明仕上げ（含浸形）の例

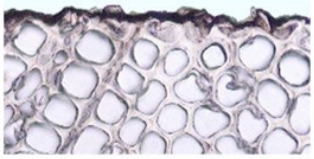
図 4.4 メンテナンスの手引き（案）P5-P6

7. 造膜形と含浸形

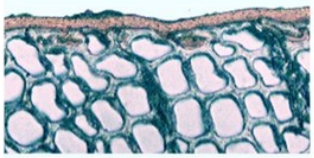
○ 造膜形と含浸形を比較すると、木材表面を保護する性能では造膜形が有利です。

○ 一方、塗り替えの手間を考えると、重ね塗り可能な含浸形が有利なことがあります。

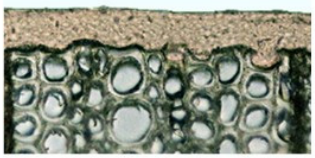
○ 例えば、デッキ、ベンチ等の直接手足で触れる部材や、大規模木造建築物のようにメンテナンスが頻繁に求められるものには含浸形が、住宅外装や看板、標識など意匠性が重要なものには造膜形塗料が選択されることがあります。



含浸形の例



造膜形（薄膜）の例



造膜形（厚膜）の例

8. 塗膜のタイプと塗り替え

○ 塗装面の耐用年数は、日当たりや雨掛りによって、また木材の前処理や塗装の種類によって異なります。

○ 無処理木材の塗装では、隠ぺい造膜形は5～7年、半透明造膜形は3～5年、半透明含浸形は2～3年目までに塗替えを行うことが多いようです。

○ 含浸形や薄膜タイプの造膜形は、使用中に生じた微細な割れへ塗料浸透量が増えるため、2回目以降の塗替え周期は上記の2倍程度に長くなることがあります。

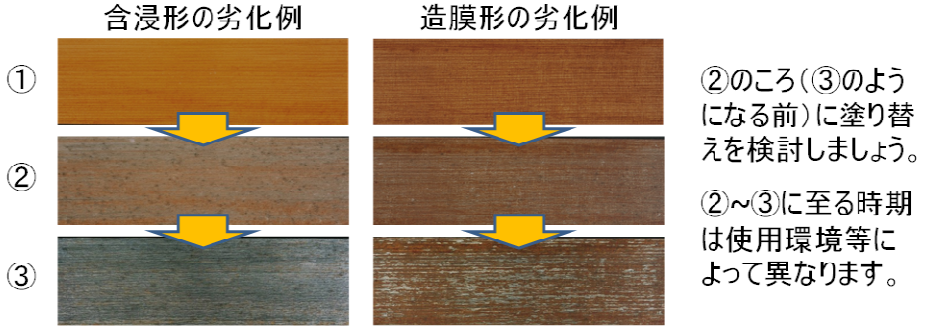


図 4.5 メンテナンスの手引き（案）P7-P8

9. 維持管理計画の策定

○ 経年変化のシミュレーションを踏まえて計画を作成しましょう

維持管理計画の例

部位 ＼ 経過年数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. 東南西面 塗替え （半透明・含浸）	塗装	2～3年		塗装	以降、4～6年周期					塗装						塗装
1. 東南西面 点検 （半透明・含浸）	初期状態把握	点検	詳細点検	初期状態把握	点検	点検	詳細点検	点検	詳細点検	初期状態把握	点検	点検	詳細点検	点検	詳細点検	初期状態把握
2. 北面 塗替え （半透明・含浸）	塗装	3～4年			塗替	以降、6～8年周期						塗替				
2. 北面 点検 （半透明・含浸）	初期状態把握	点検	点検	詳細点検	初期状態把握	点検	点検	詳細点検	初期状態把握	点検	点検	詳細点検	点検	点検	詳細点検	点検
3. 軒天 塗替え （透明・	塗															

10. メンテナンスの注意点

○ 半年～1年に1回程度、変色、割れ、剥がれなど欠陥の発生をチェックし、早めにメンテナンスすることが重要です。

○ 東・西面でも南面と同等の変化が生じ得ます。軒の保護効果は下方に離れるに伴い弱まります。なお、経年変化は地域のその年の気象に依存しますのでシミュレーションと一致しない場合があります。

○ 塗替えは、劣化状況に応じ、既存塗料の除去、漂白、下地研磨などの後、再塗装します。造膜形⇒含浸形のように異なるタイプで再塗装する際は、下地処理に注意が必要です。塗料・施工メーカーから情報入手して下さい。

方角、軒の影響を考慮し定期的な点検を

塗替え前の下地処理

塗り替えの例

図 4.6 メンテナンスの手引き（案）P9-P10

4.4　将来の予測を取り入れた新たなメンテナンスの形

木材の経年変化のシミュレーション技術を活用することにより、将来の予測を取り入れたメンテナンス計画が可能になる。そのイメージ（案）を以下に例示する（図 4.7)。

①まず、インターネット上で所定の Web サービスにアクセスし、シミュレーションプログラムを実行する。②次いで、建物の情報（図面、方位等）とその地域の過去数年間の気象データ（気象庁）を Web 入力すると、今後数年間にわたる木材の経年変化のシミュレーション結果が数十秒の動画で示される。プログラミングにより、軒や地上高さの影響、雨の跳ね返りなどリアリティの高いシミュレーションも可能である③シミュレーション結果から、注意して維持管理すべき箇所・時期が予測されるので、それに基づいて維持管理計画を作成する。④作成した維持管理計画、手引き、シミュレーション結果をダウンロードし、関係者で共有し、メンテナンスを実施する。

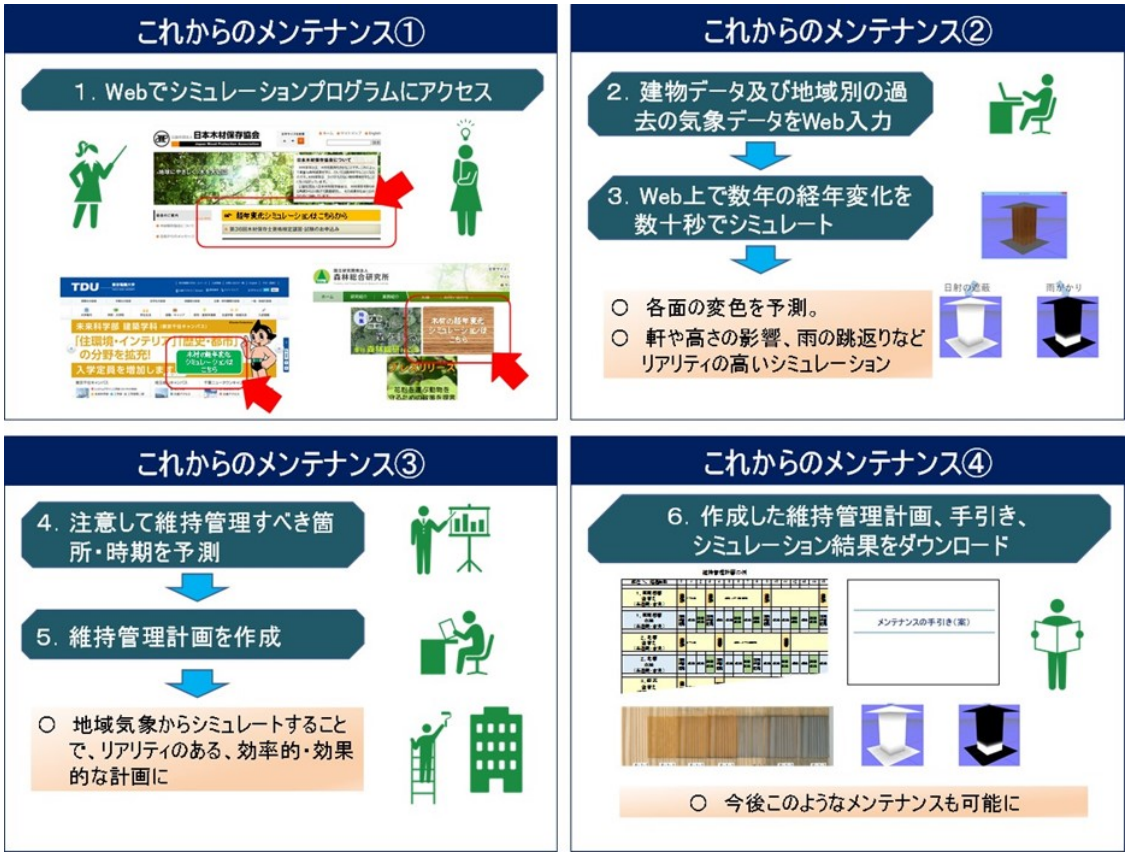


図 4.7 シミュレーション技術を活用したメンテナンスのイメージ（案）

この新たなメンテナンスシステムのメリットとして、インターネット上の簡単な操作で、将来予測が可能であること、実際の建築物情報と地域気象をもと

に予測していることから、リアリティの高い、効率的・効率的なメンテナンス計画が立案され、実施されること、関係者（設計者、施工者、使用者）が将来予測とメンテナンス計画を共有できるので、その実施にあたって誤解が生じにくいこと、などが挙げられる。

このように今後のメンテナンスは、将来の予測を取り入れたより効率的・効率的なものへと進化することが予想される。本事業では、この新たな技術の開発に関し良好な見通しを得ることができた。一方、1 年間の試験であったことから、未だ塗装面の劣化が進行しておらず、塗装材の劣化や塗り替えに関する予測手法の開発はまだこれからである。今後、この技術を完成させていくためにも、塗装材の変化を継続して評価する必要がある。塗装材に関する傾向が把握できればより完成度の高い技術開発も可能になると考えられる。

4.5　まとめ

本章では、本事業の成果を活用し、より効果的なメンテナンスを可能とする新たな手引きを提案した。

具体的には、木材の気象劣化メカニズム、保護及びメンテナンス技術に関する最新の知見を取りまとめ、本事業の成果である経年変化のシミュレーション技術を活用したメンテナンス手引き（案）を提案した。さらに将来の予測を取り入れた新たなメンテナンスの方向を示した。

これにより、木材の経年変化やメンテナンスに対する設計者、施工者、使用者の不安が軽減され、各地域における外構木材の利用拡大への貢献となると考えられる。

今後、塗装試片の変色や外観の変化を引き続き評価し、各地域におけるシミュレーションの精度を高めることで、塗り替えも含めた、より高度な維持管理計画の開発が可能となると考えられる。

第５章　成果のまとめと今後の課題

5.1　実施内容のまとめ

屋外暴露試験体は、1 無処理（辺材）、2 無処理（心材）、3 含浸型（心材）淡色、4 含浸型（心材）中間色、5 含浸型（心材）濃色、6 造膜型（心材）淡色、7 造膜型（心材）中間色、8 造膜型（心材）濃色、9 熱処理のみ（辺材）、10 熱処理（辺材）+ 含浸型中間色、11(辺材）+ ACQ 加圧処理（K3）+ 含浸型中間色を作成（図 1)。暴露試験架台 2 基を新規製作し、広島と熊本に設置した。暴露試験は、北海道・山形・茨城・東京・広島・熊本の 6 か所で行ない、スキャン画像と気象データをインターネットを通じて東京電機大学にアップロードし、スキャン画像と測色値の相関を確認した。

屋外暴露試験体のスキャン画像の各画素値を目的変数とし、累積日平均気温、累積降水量、累積日全天日射量を説明変数として回帰分析し回帰式を得た。回帰式から、暴露試験体の色調変化の将来予測を行った。試験体の種類・暴露地域・暴露経過年数をについて、実測画像・予測画像を一覧する画像ビューワーを作成した。

既存の手引きを基に、本成果を導入した手引きの方向を示した

5.2　実施結果のまとめ

10 種類の表面処理を施した木材と無処理木材を、全国 6 ヵ所で屋外暴露し、木材表面の色調変化に関するデータを統一キャリブレーションしたスキャナーで取り込み､データをインターネットで 1 ヵ所に集約するシステムを構築した。

暴露試験体のスキャン画像の各画素値（L^*値：明度、a^*値：明度 赤/緑、b^*値：明度 黄/青）を目的変数とし、暴露箇所直近のアメダスデータ（累積日平均気温、累積降水量、累積日全天日射量）を説明変数として回帰分析し、地域毎の回帰式を得た。

得られた回帰式を用いて、暴露開始後の経年による木材表面の色調変化を予測することができた。

暴露試験体の処理方法・暴露地域・暴露経過年数をそれぞれ選択し、その実測画像、及び経年後の色調変化の予測画像を一覧することが出来る画像ビューワーを作成した。

本色調変化予測システムを基本として、屋外の「現し」での木質外構材の経年変化を事前に予測し、その結果を維持管理計に取り入れるメンテナンス手引きの方向性を示した。

5.3　今後の展開

本事業には、屋外暴露の開始から 7 か月という短期間で終了したが、7 か月間という短い暴露期間でも、無処理の試験体（辺材と心材）では、色調変化が顕著であったことから、本事業ではこれらの分析・考察を主に行った。一方、塗装木材では全てにおいて 7 か月の短期暴露期間では、色調変化は見られなかったため、分析を行うことが出来なかった。また、塗装木材の色調変化を予測する資料は少なく、継続して暴露試験体のスキャン画像の取り込みを行い、木材劣化予測に関するデータを取得していく必要がある。

本事業では、6 地域での屋外暴露の気象条件の違いを、木材表面の色調変化に及ぼす影響を回帰式で数値化することは出来た。しかし、その考察に踏み込むためのデータは充分では無かった。

更にデータを集積していく事で、地域的な色調変化を示すマップを作成することも可能であると考える。得られる色調変化マップは、地域材を木質外構施設に用いる際の重要な情報となり、メンテナンス手引きの作成に繋がる。

執筆者一覧
はじめに　（公社）日本木材保存協会　今村祐嗣
第 1 章　（公社）日本木材保存協会事務局
第 2 章　（地独）北海道立総合研究機構　林産試験場　伊佐治信一
第 3 章　東京電機大学　森谷友昭
第 4 章　（研）森林総合研究所　片岡　厚
第 5 章　（公社）日本木材保存協会事務局

平成27年度林野庁補正助成事業

平成27年度地域材利用拡大緊急対策事業（木材の新規用途の導入促進）のうち
地域の特性に応じた木質部材・工法の開発・普及等支援事業

「大規模木造建築物における木質外構部材の
耐候性向上・維持管理技術の確立」
報告書
2017年（平成29年）3月

公益社団法人日本木材保存協会
〒105-0001　東京都港区虎ノ門4-2-5　第3松坂ビル8階
TEL：03-3436-4486　FAX：03-3432-1971
URL：htpp://www.mokuzaihozon.org