

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：43609

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K11951

研究課題名（和文）林業における死傷事故を予防低減する高機能性蛍光色彩デザイン

研究課題名（英文）Functional fluorescent color design to prevent and reduce fatal and injury accidents in forestry

研究代表者

松村 哲也（Matsumura, Tetsuya）

信州豊南短期大学・その他部局等・研究員（移行）

研究者番号：20617419

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：蛍光色を用いた機能的デザインによる林業死傷事故の予防低減を本研究の目的とした。JIS T8127およびEN1150で規定される12の蛍光色について森林内の光環境（可視光・紫外光）、樹木など森林内の物体の色彩値、色差・輝度差の比較を基に森林環境で有効な高機能性蛍光色を算出した。その結果、蛍光オレンジ・黄・ピンクは色彩の分離が概ね大きく、使いやすい。ただしスギ樹皮など茶色成分が多い環境ではオレンジ・黄の分離は低下する。そこで無彩色あるいは反対色によるバッファ領域の隣接配置による周囲からの切り離しが有効である。また積雪時には紫外光の雪面反射を利用できる脚部への蛍光色配置が効果的であることが判った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、死傷事故が極めて多い林業の現状を鑑み、蛍光色彩による注意喚起・意思伝達機能を活用した林業の安全性向上策の構築を目指した。新たな技能を習得する必要がなく、物体本来の機能性能を改変することもなく、ただ物体外観の色彩を制御するだけで実行できる。極めて容易で、コストのかからない画期的な方策である。さらに本研究の成果は林業者の安全向上に留まるものではない。建設・土木・鉱業など他産業分野の労働安全、あるいは登山者の遭難事故低減への展開も可能であり、開発途上国など安全対策にコストをかけにくい状況でも実行が容易な方策である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to prevent and reduce fatal and injury accidents in forestry by using functional fluorescent color design.

For the 12 fluorescent colors specified in JIS T8127 and EN1150, functional colors effective in forests were calculated based on a comparison of the light environment in forests (visible and UV light), the color values of objects in forests, and the color difference and brightness difference. As a result, fluorescent orange, yellow, and pink generally have a large color separation and are easy to use. However, in areas with a large brown component, such as cedar bark, the separation of orange and yellow decreases. Therefore, it is effective to separate them from the surroundings by placing achromatic or opposing color buffer areas adjacent to them. It was also found that in places with snow, it is effective to place fluorescent colors on the lower half of the body, as it is possible to utilize the reflection of UV illumination light on the snow surface.

研究分野：森林利用学

キーワード：林業 森林 労働安全 高視認性 蛍光色 色彩 作業 防護

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国土の70%を占める森林の維持管理は、木材供給に加え土砂災害抑止など国土保全の観点からも重要だが、管理作業を担う「林業」は死傷事故が極めて多く、改善が渴望されている。

本研究では、照明光中の紫外線成分により鮮やかな発色を呈する蛍光色を用いた高視認性色彩が人間の注意を喚起する機能、意思を伝達する機能に着目した。森林内の光環境、森林内の物体の色彩値を測定・数値化し、色差・輝度差の比較を基に森林環境で有効な「高機能性蛍光色」を算出する。次いでこれらの色彩を作業服や装備等に反映させて、作業者間の能動的な注意警戒行動を促し、森林作業における死傷事故の予防・低減を達成しようとするものである。

【林業労働の危険性】 足場の悪い山の中で、伐採木等重量物や刃物を取り扱う林業の特性から年間約1,700人近い死傷者ならびに40人程度の死者を数えている(H24-28)。他産業との比較では、H28年度の全産業における死傷者数千人率が2.2、建設業4.5、鉱業9.2であるのに対し31.2と全産業区分中最高となっている。(林災防HP『死傷千人率産業間比較』)。

【改善に向けた取組とコストの壁】 林業作業者の安全・快適に配慮した新型機械の開発・導入、作業手順の改定による危険性排除や労働効率向上、防護装置開発、安全教育や法的環境整備等、各界が連携して様々な取組に臨んできたが、画期的改善には至らず、更なる方策が求められている。一方で、外国産木材に対して競争力に劣るわが国の林業経営は、非常に厳しい経済状況にあり、コストがかかる安全策はなかなか受け入れられない実情がある。

2. 研究の目的

本研究では、蛍光色を用いた高視認性色彩を活用して、林業現場における死傷事故を低減する技術の開発を目指した。

【色彩の注意喚起・意思伝達機能と蛍光色の特徴】 人は赤や黄色を見るとハッと注意を喚起される。これは目立つ色彩であることに加えて、「赤=禁止」「黄=注意」などの言語的な意味の伝達が刺激となることによる。同様に「緑=安全」「白=中立」といった意味も様々なカラーデザインに応用されている。またJIS-Z9101の“安全色及び安全標識”の項など、特定の色彩に一定の意味と、安全標識としての用法を規定したのものもある。

本研究で扱う蛍光色とは、照明光中の紫外光成分にも反応して、一般色よりも鮮やかに発光・発色する色彩であり「目立つ」機能性が極めて高い。2015年制定のJIS T 8127“高視認性安全服”では、蛍光黄・オレンジ・赤の3色が、欧州標準EN 1150では8色が規定されているが、それ以外にも色素と蛍光成分の混合によって様々な蛍光色彩を生み出すことができる。

【林業労働における「目立つ」機能の重要性】 死傷事故防止の基本として、林業作業を行う場合には、自分以外の作業員や作業機械が現在どこに居るか、自分と他者とが互いに衝突・接触など干渉しないように警戒することが不可欠である。この時、他の存在が「目立つ」ことでいち早く認識できることは効果的であり、ひいてはストレス軽減、労働強度の軽減、作業効率の向上にも寄与する。万一負傷事故が起こった場合でも、「伐倒木の下敷き」「斜面転落で骨折」「チェーンソーで切傷出血」といった過去の事故事例を鑑みると負傷後の自力脱出が難しいものが少なくなく、他者による迅速な発見と救助が生存の可否に直結する。救助効率と予後の改善にも「目立つ」機能が大きな効果を発揮する。

【森林環境で「目立つ」ために】 ある特定の色彩が目立ち、高い視認性・誘目性を発揮するためには、周囲の色彩との関係が大切である。先述のJIS-Z9101やZ9103では特定の色彩を「安全色」として用いる際に、その色彩を際立たせるために対比する色彩を規定している。

しかしながら、森林環境内における作業用被服や装備、機械類では一定の対比色を常設することは難しい。そのため、予め森林環境を構成している様々な物体がどのような色彩を持ち、環境がどのような色彩で構成されているか(環境色彩)を測定調査し数値化を図った森林環境色彩の数値プロフィールを蓄積し、比較のための基盤情報とする事がより効果的な色彩デザインを導くための基礎となる。ここで一般色が照明光中の可視光線によって色彩を呈するのに対し、蛍光色では、可視光線に加えて、蛍光成分を励起する短波長成分(紫外線)が利用される。そこで、森林内の照明光環境の把握として可視光線照度に加えて紫外線強度の測定調査が欠かせない。

3. 研究の方法

A: 森林環境色彩・照明光プロフィールの充実化 これまでの試行により、森林の状況(季節や樹種等)によって色彩の効果は異なり、安全性能の高い色彩を算出するには、多様な条件下での環境色彩の採取分析が望ましいことが判明している。そこで機能性の高い蛍光色を選択するための基盤情報として「地域」「樹種」「季節」「時刻」の条件が異なる森林環境色彩と照明光環

境(可視光・紫外光)を測定した。さらに同一測定点にて南面・直立する状態に蛍光色生地サンプル12点(JIS T8127・EN1150・JSAA2001 規定色彩)を設置し、各サンプルが呈する輝度値を測定した。これらの情報をもとにプロフィールの充実化を計る。

B: 既存の作業用被服・装備・機械・車両等の色彩値測定 既存物品の色彩を測定・数値化し、環境色彩中での視認性を算出した上で現行の色彩が備える機能性を評価する。

C: 「安全性能の高い蛍光色」の算出とカラーデザインシステム 上述の森林環境色彩・照明光プロフィールと、既存物品の色彩データ、を基に、森林環境内で効果的に目立つ「安全性能の高い蛍光色」を求める。また、複数の蛍光色や一般色との組み合わせによる相乗効果を検討し、注意喚起・意思伝達機能を高度に発揮するカラーデザイン要件を明らかにする。

4. 研究成果

本研究事業では、当初想定していた研究期間は3年間であったが、途中コロナ禍の影響を受け、長距離移動ならびに関係者との面談・聞き取り調査の実施を保留あるいは抑制せざるを得ない事態となった。そのため再々の研究期間延長申請により計6年の研究期間となった。

そしてコロナ禍が収束した後も、感染症防護の観点から調査方法ならびに行動様式を見直す必要があったことから、調査対象の選定も抑制的になり、調査事例数も想定より控えめなものとならざるを得なかった。

このような状況の中、ヨーロッパ3カ国4地域(ポルトガル・ポルト、イタリア・フィレンツェおよびベネツィア、オーストリア・ゼメリンク)と国内19都道府県(北海道・青森・秋田・福島・新潟・群馬・栃木・茨城・千葉・埼玉・東京・静岡・富山・長野・鳥取・大分・熊本・鹿児島・沖縄)に調査対象を設定し、森林環境色彩・照明光プロフィールの充実化と既存の作業用被服・装備・機械・車両等の色彩値測定を推進した。調査・測定より得られた知見を元に、一般色とは異なり照明光中の紫外光成分の影響が大きい特性を持った蛍光色の、森林環境における視認性評価を元にした、蛍光色の活用法・カラーデザインの提言に至った。

【森林環境色彩・照明光プロフィールの充実化】 ヨーロッパ2カ国3地域と国内15都道府県にて調査対象を設定し、環境色彩情報と森林内照明光環境の測定を行った。ただ、本研究における森林環境色彩情報・照明光調査の性質として基本的に降雨降雪時には測定ができないため、コロナ禍の影響と相まって、調査スケジュールが大きく乱れることとなった。そのため、研究当初に想定していた調査対象地の一部を割愛し、行動制限が緩和された調査期間後半では、地域性や気候、樹種、立地条件、施業条件などに特徴がある林分を選択し、プロフィールの質的充実を目指した。とくに長野県北部地域、青森県八甲田山域に設定した対象地では、同一地点における複数年を経た積雪期・緑葉期・落葉期・紅葉期の状況を捉えることができた。また、沖縄県(沖縄本島)、鹿児島県島嶼部(奄美大島)での調査でも、亜熱帯性気候における特徴的な樹種で構成される森林環境における複数年を経た情報を取得できた。

環境色彩情報および照明光の測定に続いて、同一測定点にて蛍光色生地サンプル12点の輝度を測定した。照明光の情報と重ねることで、可視光成分と紫外光成分の強度比較そして蛍光色サンプルの輝度値との比較から、森林内の色彩構成は降雪や紅葉・落葉といった季節変化によって大きく変化をきたすこと、そして照明光環境の季節変化として積雪期の雪面反射がもたらす影響が大きく、とくに紫外光の強度が強くなることを明らかにできた。

【既存の作業用被服・装備・機械・車両等の色彩測定】 ヨーロッパ3カ国3地域と国内13都道府県にて、林業作業現場や資機材メーカー、販売会社、商品展示会などを訪問して、作業者が着用あるいは使用する被服・装備品、作業道具・機械および重機をはじめとする林業用車両類の外装色彩情報の測定を行った。

【「目立つ色彩」の算出とカラーデザインの構築】 構築した森林環境色彩・照明光プロフィールに保存蓄積された色彩・照明光・蛍光生地サンプルの輝度情報と既存製品の色彩情報とを基に、森林作業者が「目立つ」ことを求めて、周囲との色差と輝度差が大きくなる蛍光色彩の組み合わせを検討した。これまでの研究で得られた知見と同様に、緑葉期における森林環境色彩の分布をもとに評価すると、葉の緑色系や樹皮枝条の茶色系の色彩が多くを占めることから、葉の色に近い蛍光黄色、樹皮の色に近い蛍光赤色については、蛍光色であっても森林内では必ずしも「目立つ」とは言えない場合があり、とくに紅葉期の広葉樹林では、蛍光赤・黄に加えて蛍光オレンジ色についても周囲との色差を保ち難く、保護色のように紛れてしまう危険があることがわかった。ただし、薄暮の時間帯など照明光が弱く薄暗い状況では、一般色だと周囲の枝葉や樹皮の色彩と同様に暗く色味が弱くなり視認性が低下するが、光の短波長成分を利用できる蛍光色は、自ら光るように発色することから輝度を維持しやすく、とくに色差も維持できる蛍光黄と蛍光オレンジが使いやすい。また、JIS T8127には含まれないがEN1150およびJSAA2001で規定されている蛍光ピンク色も森林環境色彩からの色差と輝度差を確保しやすい有効な色彩である。

南北に長い国土を持ち季節変化に富んだわが国においては、森林環境を構成する色彩も変化に富む。これらの蛍光色を単色で用いようとする場合、年間を通じて1種類の色彩で対応しようと

すると十分な視認性を確保できない難しさがある。そこで状況に応じて違う色彩のものと使い分けることを提唱したい。そして複数の色彩を組み合わせる用いる場合には、色差の大きい蛍光黄と蛍光赤あるいは蛍光オレンジと蛍光ピンクといった 2 色構成とすることで様々な色彩環境に対応できる。また、蛍光色と白・灰・黒といった無彩色と隣接して組み合わせることで、無彩色の領域が周囲の色彩から切り離して、その蛍光色をより際立たせる効果が期待出来る。ただ、この場合でも、季節変化に合わせて蛍光色と無彩色の組み合わせを変更することがより効果的である。また、複数の色彩の組み合わせを黒い長袖シャツの上に蛍光オレンジ色のスリーブレスシャツを重ね着することで実現することや、ヘルメットの塗色に別の蛍光色を採用することも実際的な運用法である。

冬季に積雪する地域では、上方からの照明に加えて雪面からの反射・拡散光があり、足下からの照明が利用できることと、雪面は白色系の無彩色であることから蛍光色との色差を維持しやすく、防護ズボンなど下半身に蛍光色素材を配置することが効果的である。一方、雪が無い環境では照明光の多くは頭上から到達するため、ヘルメットや上衣の肩・袖・胸・背といった上方からの光を受けやすい部位への配置が適している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松村哲也	4. 巻 69
2. 論文標題 大型林業機械の外装塗色に対応した JSAA 高視認性色彩の選択	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 中部森林研究	6. 最初と最後の頁 87-88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松村哲也	4. 巻 68
2. 論文標題 秋田県北部のスギ林における積雪期林内紫外光環境	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 中部森林研究	6. 最初と最後の頁 65-66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松村哲也	4. 巻 67
2. 論文標題 林業用スマート・テキスタイルの開発 -低サンプリングレートIMU データの利用-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 中部森林研究	6. 最初と最後の頁 87-88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 2件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 ホイール型林業機械外装の色彩構成
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 大分県日田林業地域スギ林における色彩の機能性評価
3. 学会等名 第13回中部森林学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 スマートチェーンソーの3軸加速度センサ搭載位置に関する考察
3. 学会等名 第12回中部森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 南八甲田山系櫛ヶ峯広葉樹林の新緑期森林環境色彩
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 チェーンソー防護ズボンに関する工業規格の動向
3. 学会等名 全国森林組合連合会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 防護具切断抵抗性試験機のソーチェーン張り強さの代替基準
3. 学会等名 中部森林学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 防護具切断抵抗性試験機のガイドバー熱分布に基づく代替調整基準
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 防護具切断試験機のソーチェーン張り調整に関する考察
3. 学会等名 森林利用学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 大型林業機械の外装塗色に対応した JSAA 高視認性色彩の選択
3. 学会等名 中部森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 竹林内の環境色彩分布
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松村哲也, 仁多見俊夫
2. 発表標題 林業用防護服の視認性評価に向けた森林内環境色彩調査2 - 奄美大島金作原国有林を対象として -
3. 学会等名 繊維製品消費科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Matsumura, Toshio Nitami
2. 発表標題 In-Forest Environmental Color Survey for Visibility Evaluation of Protective Clothing for Forestry - A survey at Amami Oshima Kinsakubaru National Forest -
3. 学会等名 Comfort and Smart Textile International Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 秋田県北部のスギ林における積雪期林内紫外光環境
3. 学会等名 中部森林学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 冬季森林環境における高視認性色彩の挙動 - 奄美大島金作原生林と北秋田地方スギ林の比較 -
3. 学会等名 森林利用学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村哲也, 仁多見俊夫
2. 発表標題 積雪期における高視認性安全色彩の輝度情報
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetsuya Matsumura, Toshio Nitami, Hajime Tsuji
2. 発表標題 Smart Integration of Protective Clothing and Portable Cutting Devices for Forest Operations
3. 学会等名 8th European Conference on Protective Clothing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村 哲也, 仁多見俊夫
2. 発表標題 林業用防護服の視認性評価に向けた森林内環境色彩調査 - 石垣島於茂登岳地域を対象として -
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 林業用スマート・テキスタイルの開発 -低サンプリングレートIMU データの利用-
3. 学会等名 中部森林学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村哲也
2. 発表標題 日本の林業が求めるPPE(Personal Protective Equipment)
3. 学会等名 日本防護服協議会学術総会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村 哲也, 仁多見俊夫
2. 発表標題 林業用スマート防護服の開発 -低サンプリングレートジャイロ情報の利用-
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 松村哲也	4. 発行年 2023年
2. 出版社 株式会社アクセスインターナショナル	5. 総ページ数 42
3. 書名 フォレストジャーナル Vol.15 2023 SPRING, P8-9, 19.	

1. 著者名 松村哲也	4. 発行年 2018年
2. 出版社 全国林業改良普及協会 編	5. 総ページ数 118
3. 書名 林業現場人 道具と技 Vol.18 特集 重機オペレータのテクニックと安全確保術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------