

## 論文の内容の要旨

論文題目 空間の明るさ感の予測・評価に関する研究

氏 名 兪 ハニ (ユ ハニ)

現在、重要な課題となっている地球環境負荷の低減のため、建築の光環境分野においても、室内空間の明るさと照明の省エネルギーを両立する技術が求められている。照明の省エネルギーは、照明機器の効率化や、不必要な場所・時間において明るさをコントロールする照明制御や、自然エネルギーである窓からの昼光を利用することが有効な技術になっている。先進国を中心に、これらを組み合わせ、空間の明るさと照明の省エネルギーを両立させる研究が活発に行われており、その技術を実際に使用した際の明るさの評価には照度が使用されている。照度による評価は、非専門家でも手軽に評価できるという長所があるが、設計者が照度を利用し実際に設計を行った際に、予想した明るさにならない場合があるなどの問題点がある。明るさの評価は、視覚との関係が強く、特に心理的な影響が大きく未解決な問題が多いため、物理量と心理量の両方を用い、人間の感覚まで考慮した指標である「空間の明るさ感」を用いることが必要と考えられる。この空間の明るさ感という指標を使用すれば、十分明るい物理的な光量を抑えた省エネルギー照明の光環境を作ることができると考えられる。

これまで空間の明るさ感評価法に関する研究はいくつか行われており、例えば、輝度画像・明るさ画像、仮想輝度分布、色モード境界輝度、光の量・指向拡散度、平均算術輝度などを用いた方法が提案されている。これらに共通するのは、光源から光を受けた面の明るさを表している照度より、観測者の目にどの程度で光の量が来ているかを表す心理的な物理量である輝度を利用している点であり、人が実際空間を見る際の主な方向である鉛直面の輝度に基づいて空間の明るさ感の評価をしているということである。その内、本研究の先行研究である高らの提案による算術平均輝度を基にした「空間の明るさ感予測式(以下、明るさ感予測式とする。下記参照)」は、輝度の平均と分散による単純な予測式になっているという特徴があり、実用化及び普及の可能性が高いと考えられる。しかし、他の研究と同じように人工照明下の空間でしか確認されておらず、限られた条件における実験室実験で求められたものである。よって、実際の建築空間で活用するためには、視野の広さの影響、対象輝度のダイナミックレンジの影響、昼光と人工照明が

ともに存在する場合の影響などを明らかにしなければならない。

$$B = (21.5 - 8.4 \cdot C) \cdot L^{\frac{1}{3}}$$

B : 空間の明るさ感

C : [log 輝度値]の標準偏差

L : 評価範囲の算術平均輝度

本研究では、この明るさ感予測式の妥当性の検討や実空間における検証を目的としている。具体的内容は以下の2点である。

1) 空間の明るさ感予測式に影響を及ぼす要因の検討

高らが提案した明るさ感予測式は、直接測定される輝度を中心に構成されており、他の影響はあまり考慮していない。しかし、実際には明るさ感は、照明の光色や空間の内装条件など様々な要因に影響を受けと考えられ、被験者実験を通して空間の明るさ感予測式に影響を及ぼす要因を検討する。

2) 明るさ感予測式の実空間での適応可能性の検討

昼光導入時の室内や屋外空間、照明のみの室内空間などの実空間で実験を行い、明るさ感予測式の実空間での適応可能性を検討する。さらに、360°を見回したときにも適用可能かを確認する。

以下、本論文の各章のまとめを述べる。

第1章では、本研究の背景として、空間の明るさ感に関する研究の重要性について述べた。現在発表されている明るさ感予測式を比較し、特徴を示した。また、研究の目的、論文の構成を示した。さらに、本研究におけるキーワードについて簡単に説明した。

第2章では、本研究の先行研究として検討対象になる高らが提案した明るさ感予測式の実験方法や条件について示し、以後の章で理論的検討を行うために概説した。

第3章では、天井の高さが高い実空間での明るさ感予測式の検討を行った。第2章の高らの明るさ感予測式の実験室実験の検証実験は、天井の高さを2.6mにして行っている。しかし、実際には、天井の高さ2.6m以上の空間も存在しているため、7.5mの吹き抜けの天井の高い空間に照明器具で上下のばらつきを作ってME法による被験者実験を行った。その結果、明るさ感予測式は精度良く成り立つことが示された。

第4章では、照明の光色が明るさ感に与える影響を検討した。まず、調整法による実験箱実験を行い、光色による明るさ感の結果から純度が高くなるほど明るく感じることを導いた。また、青系、赤系は標準白色より明るく感じ、緑系は標準白色より暗く感じ

る結果となった。光色と明るさ感の関係から、色温度と明るさ感の関係を導出した。次に、実験室空間で同様の実験を行った。2700K まで漸減し、2700K から 4000K まで低い水準で推移し、4000K 以上は明るさ感が漸増しているが、通常の色温度の範囲 (2500K～6500K) では明るさ感予測値は約 5% 範囲以内で収まっている。また、明るさ感予測式は精度よく成り立っていることが確認できた。

第 5 章では、昼光導入時の明るさ感予測式の妥当性を検討した。高の明るさ感予測式はスクリーン実験から導かれたものであり、人工照明のみ存在する実験室空間でしか検討していない。そのため、昼光が導入された場合でも予測式の妥当性があるかを確認する必要がある。そこで、窓面が目に入らない場合や目に入る場合の実験空間を設定し、調整法で被験者実験を行った。明るさ感予測値と明るさ感調光値の相関比が 0.7 以上と高くなっており、明るさ感予測値と明るさ感調光値の回帰直線の傾きが 1.3 程度になっており、検討が必要であると考えた。

第 6 章では、昼光を導入した空間における内装と明るさ感との関係性を検討した。空間の内装を変化させたときの影響を調べるため、第 5 章の実験空間を想定した模型の内装の色相・明度・反射性状を変化させ、調整法で実験を行った。反射性状や色相に関する影響は見られなかった。内装の明度については、明度が高くなるほど明るく感じることを示された。明度は輝度に反映されるので、妥当な結果である。また、相関比が 0.9 以上と高くなっていた。しかし、第 5 章と同じように回帰曲線の傾きが 1.3 程度になっており、検討が必要であると考えた。

第 7 章では、室内と屋外空間による明るさ感予測式の妥当性を検討した。昼光導入時の室内や屋外空間、夜間の室内空間での実空間実験で検討した。調整法で検討するために可搬形実験箱を設計・製作し、それを用いて実験を実施した。実空間における明るさ感予測式の相関比が高く出たため、適用可能性が確認できた。また、傾きが 1.3 から 1.5 程度になっている結果については検討が必要であると考えた。さらに、視野角と明るさ感の関係を調べるために、輝度画像が 103.6° の場合と 180° の場合の相関比や回帰曲線の傾きを比べてみた結果、二つとも相関比が高く、原点を通る回帰直線の傾きも似ている傾向であったため、視野角による影響は少ないと考えた。

第 8 章では、360° を見回した時の明るさ感予測式の妥当性を検討した。360° 見回しの被験者平均値の明るさ感予測値に対する調光値の相関比がやや高かったため、明るさ感予測式は 360° 見回しの時にも精度良く当てはまると判断した。360° 見回しの明るさ感と一番相関比が高かった方向は横方向であることや回帰曲線の傾きは窓と反対向きが一番近かった結果になったことから、人間が空間の明るさ感を判断する際には空間

全体を総合的に判断して、平均的な空間の明るさで評価していると考えた。この章の実験での評価空間は室内の空間であり、輝度範囲が限られているため、ばらつきが大きい空間や屋外での検討も必要だと考えた。

第9章では、明るさ感予測式の実空間での適応可能性について考察した。第2章から第8章までの実験データを用いて、高らが提案した明るさ感予測式の妥当性を確認することを目的とする。明るさ感予測式の妥当性が成立すると判断するために必要な条件を「条件1：回帰直線の相関比が高いこと」、「条件2：回帰直線の傾きが1みなせること」に設定した。第2章から第8章までの実験データを用いて考察を行った結果、「作業仮説0：明るさ感予測式は補正係数 $k$ を導入し、空間の違いによる場合分けをしたほうが妥当性が高い」を立てた。また、妥当性の成立条件1は満足しているが、条件2は傾きが1とみなせる場合があり、検討が必要であるため、「作業仮説1：評価空間を見るための覗き穴の周りの色と実験箱の色が同じ場合」、「作業仮説2：評価空間を見るための覗き穴の周りの色の違い」、「作業仮説3：被験者がいる空間の明るさの違い」の3つの作業仮説を立てた。第9章の実験を通して、上記の作業仮説を検討した結果、作業仮説1～3は棄却された。さらに、実空間の評価そのものには影響していないことの検証のため、測定法として調整法の代わりにME法を使用する条件のもとで、「作業仮説4：基準条件と評価条件が同じ場合は、傾きが1とみなせる」の検討の結果、作業仮説4が成立すると考えた。作業仮説4の成立は、成立条件2を代替するものと考えられるため、成立条件1と合わせ、作業仮説0は棄却され、高らが提案した明るさ感予測式は、一般的な空間に対してはそのままの形で使用できる可能性が確認でき、概ね実空間での妥当性を検証することができたと考えられる。

第10章では、評定尺度法による結果と明るさ感予測式の関係について検討した。第7章で行った実験の結果と、3駅を対象とした照明改修前後の明るさ感を評価する補足実験の結果を分析し、明るさ感予測値と評定尺度法による明るさ感の相関が高いことが示された。評定尺度法の場合は、昼光の影響の程度によって明るさ感の輝度範囲が違うことから相対的な評価をしていることが確認された。

第11章では、結語として、第3章から第10章まで得られた全ての成果をまとめ、本研究の適用範囲を記し、今後の課題について述べた。

以上により、高らが提案した空間の明るさ感予測式で考慮しなかった要因を被験者実験により検討し、適用範囲を広げた。また、昼間の半屋外空間・屋外空間や昼夜の室内空間など実空間を対象に検討することで、実際に人間が生活する実際の環境での適用可能性を確認した。