

JIER-106

照明学会研究調査報告書

生体への生理的影響を考慮した光環境設計指針に関する研究

生体への生理的影響を考慮した光環境設計指針に関する研究調査委員会

2009年3月

社団法人 照明学会

目次

1 . 研究調査委員会概要	1
1-1 . まえがき	1
1-2 . 委員会の構成	2
1-3 . 委員会活動概況	3
2 . 技術解説	9
2-1 . 光受容メカニズム	9
2-2 . アクションスペクトル	12
2-3 . 測光・作用評価	14
2-3-1 . メラトニン分泌抑制の生理学的モデル	14
2-3-2 . メラトニン分泌抑制率の概算	14
2-3-3 . 光源間のメラトニン分泌抑制作用の比較	15
2-3-4 . 他の効果との対応	15
2-4 . サーカディアンリズム障害への光療法およびアプリケーション	18
2-4-1 . 基本コンセプト	18
2-4-2 . 光療法の有効性検証	18
2-4-3 . 認知症高齢者への光療法	23
2-5 . 交代勤務と夜間照明光	24
3 . 重要研究調査報告	26
3-1 . 研究者選定	26
3-2 . 研究概要	26
3-3 . 重要研究	27
4 . 国際会議情報	40
4-1 . 2nd CIE Expert Symposium on “Light and Health”	40
4-2 . The 26th CIE Session	43
4-3 . SOLG Symposium “Light, Performance and Quality of Life”	47
4-4 . 20th Anniversary Meeting Society for Research on Biological Rhythms	49
5 . 海外事例調査報告～オランダにおける照明設計指針事例～	54
5-1 . 各章構成	54
5-2 . 指針 (RECOMMENDATION: Light and Health in the Workplace 第6章より)	54

5-2-1 . イントロダクション	54
5-2-2 . 職場における照明ニーズ	55
5-2-3 . 要件と指針	55
5-2-4 . 照明要件の提案	58
5-2-5 . 結論	60
5-3 . 当委員会の見解	61
6 . 国内研究事例	62
6-1 . メラノプシンが関与する瞳孔対光反射の分光感度	62
6-1-1 . はじめに	62
6-1-2 . 実験方法	62
6-1-3 . 実験結果	63
6-1-4 . 考察	64
6-2 . 夜間の光曝露によるメラトニンの分泌抑制の季節差と民族差	66
6-2-1 . はじめに	66
6-2-2 . 光によるメラトニン抑制の季節変動	66
6-2-3 . 光によるメラトニン抑制の民族差（虹彩色の影響）	68
6-2-4 . まとめ	69
6-3 . 単波長光の波長と脳波との関係	71
6-3-1 . はじめに	71
6-3-2 . 実験方法	71
6-3-3 . 結果・まとめ	71
6-4 . メラトニン分泌抑制効果の定量化	74
6-4-1 . はじめに	74
6-4-2 . 瞳孔反射がない場合のメラトニン分泌抑制率の算出式	74
6-4-3 . 瞳孔反射がある場合のメラトニン分泌抑制率の算出式	75
6-4-4 . モデル検証	76
6-4-5 . まとめ	76
6-5 . サーカディアンリズムへの作用定量化を目的とした広ダイナミックレンジ カメラの検討	78
6-5-1 . はじめに	78
6-5-2 . 計測システムの開発	78
6-5-3 . 標準の光を基準としたメラトニン分泌抑制感度での光強度の定義	79
6-5-4 . 計測結果	80
6-5-5 . まとめ	81
6-6 . メラトニン抑制を考慮した視環境評価	83

6-6-1 . はじめに	83
6-6-2 . 相関色温度と照度を用いたメラトニン抑制光束簡易推定式	83
6-6-3 . 光の浴び方・睡眠効率調査	84
6-6-4 . おわりに	88
6-7 . 夜間の屋内照明とメラトニン分泌	90
6-7-1 . はじめに	90
6-7-2 . 夜間の低照度光曝露がメラトニン分泌に及ぼす影響	90
6-7-3 . 就寝前の低色温度光曝露がメラトニン分泌に及ぼす影響	91
6-7-4 . 考察	93
6-8 . 日本の夜間屋外における曝露光量の実測調査	94
6-8-1 . はじめに	94
6-8-2 . 夜間屋外における曝露光量の評価法	94
6-8-3 . 測定方法	95
6-8-4 . 測定結果	96
6-8-5 . まとめ	97
6-9 . 生理的影響を超える人体への光作用	100
6-9-1 . はじめに	100
6-9-2 . 光と人体	100
6-9-3 . 光を利用する治療法	100
6-9-4 . 光を利用する診断法	103
6-9-5 . 光への期待	103
7 . 関連照明事業調査	105
7-1 . 光源	105
7-2 . 照明器具およびシステム	106
7-3 . 光療法装置	107
8 . あとがき	109

1. 研究調査委員会概要

1-1. まえがき

人類は、火を使い、やがて篝火や焚き火で明かりを取り、ろうそくやランプそしてガス灯・電球・蛍光灯と次々と人工の光源を開発してきた。これにより、夜間も自由に明かりを手に入れることができ、生活の時間帯が広がり、夜間でも安心安全を確保するとともに、視作業に必要な明るさも得ることができた。快適な視作業や安心安全のための照明基準が次々と作成され、全世界的に照明ソフトの標準として活用されている。

しかし、夜間でも 1000 ルクス近い作業環境や生活空間が提供されることで、生活の深夜化・24 時間社会などが生じてきて、人間本来の生活リズムとのズレが問題になってきている。しかし、こういった観点での照明環境に関する研究や基準作成作業はまだまだ遅れている。

そもそも、人類が地球上に出現したのは数百万年前であり、人類はそれ以後ずっと太陽と月による自然環境の下に生活をしてきた。この間、地球上での環境に適用すべく遺伝子にプログラムが書き込まれてきたと思われる。一方、人工光により、夜間、自由に明かりをコントロールできるようになったのは、高々 100 年前であり、この 100 年では、体の中の遺伝子に書き込まれた太陽光への適応プログラムは変更することはできず、体内の時計は未だに自然界の光環境に適用すべく動いているはずである。その結果、人工光をコントロールすることで生じる夜間の光環境が、人類や動植物の生体リズムに悪影響を与えていることは充分懸念される。

現在の光環境設計指針（例えば、ISO/CIE 規格や JIS 規格・照明学会推奨基準など）には、このような人類の生理的影響を考慮した項目は充分には盛り込まれていない。しかし、睡眠学や生理人類学の分野においては、こういった研究が世界中で行われ、夜間照明の危険性に関しても指摘され始めている。こういった照明を知らない研究者だけに研究を任せると、『夜間の照明は生体リズムに悪影響を与えるので、夜間の照明は消すように・・・』というような極端な結論になりかねない。これは、現実の生活環境を無視したもので、社会全体に受け入れられない。光と生体リズムの影響と照明による快適性・安全性といった両面から基準を検討できる照明学会の立場での学会推奨基準の検討が必要になる。

本研究調査委員会では、それに先立ち現在世界中で行われている『光と人間の生体リズムに関する研究』に関して調査し、全体の研究マップを作成するとともに研究概要のデータベースを作成することを目的としている。3 年間の委員会活動を通じて、国内の各研究者の研究内容紹介を収集したほか、インターネット検索システムを用い、全世界の主だった研究者の研究論文を調査し、体系的にまとめた。また、全世界の関連企業の生体リズム配慮照明器具や研究開発状況についても調査しまとめた。

これらのデータは『生体リズムへの影響』に興味のある国内研究者のお役に立つものと確信している。また、ヨーロッパを中心にこういった『生体リズムを配慮した国家推奨基準』が既に発表され始めている。内容的にはまだまだ未熟なものであるので、今後、本報告書を参考に日本国内で『生体リズムを配慮した照明環境推奨基準』の検討が進められることを大いに期待する。

(委員長 阪口 敏彦)

1 - 2 . 委員会の構成

委員長

阪口 敏彦	パナソニック電工(株)照明 R&D センター
-------	------------------------

幹事

高橋 良香	千葉大学工学部デザイン工学科
野口 公喜	パナソニック電工(株)照明 R&D センター

委員

岩田 利枝	東海大学情報デザイン工学部
森下 大輔	岩崎電気(株) 技術部
河本 康太郎	千代田工販株式会社
古賀 靖子	九州大学大学院 人間環境学研究院
佐々木政子	東海大学総合科学技術研究所
重光 司	電力中央研究所
菅沼 浩敏	資源協会
菅野 普	旭化成ホームズ(株)
鈴木 敬明	静岡県静岡工業技術センター
田澤 信二	岩崎電気(株)
中村 芳樹	東京工業大学
東 洋邦	東芝ライテック株式会社
樋口 重和	国立精神神経センター
明道 成	セントラルメルコ株式会社
望月 悦子	千葉工業大学工学部
渡貫 美衣	(株)マルトキ
伊藤 大輔	(独)建築研究所

1 - 3 . 委員会活動概況

第一回委員会

日 時：平成 18 年 6 月 12 日（月）14:00 ~ 16:00

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

古賀，望月，東，江湖，佐々木，明道 各委員

欠席者：中村，岩田，河本 各委員

オブザーバー：伊藤（東海大学），天野（九州大学）

【会議概要】

1．委員会主旨説明（阪口委員長）

2．各委員自己紹介

3．取り組み内容の提案とディスカッション

（国内外研究動向調査，若手ワーキンググループ活動，関連設備見学など）

第二回委員会

日 時：平成 18 年 9 月 19 日（月）13:30 ~ 15:30

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

岩田，江湖，古賀，佐々木，鈴木（新任），中村，東，樋口（新任），

明道，望月 各委員

欠席者：河本委員

オブザーバー：伊藤（東海大学），天野（九州大学）

【会議概要】

1．新委員の就任紹介

2．研究紹介「ipRGC が関与する生物学的反応の分光感度」（高橋幹事）

3．第 2 回 CIE エキスパートシンポジウム「Light and Health」参加報告（野口幹事）

4．ワーキング活動（学術論文調査）についての協議

第三回委員会

日 時：平成 18 年 12 月 14 日（木）13:30 ~ 16:15

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

岩田，江湖，古賀，佐々木，鈴木，東，樋口，明道，望月 各委員

欠席者：河本，佐々木，中村 各委員

オブザーバー：天野（九州大学），伊藤（東海大学），菅沼（資源協会）

【会議概要】

1. 新委員の就任紹介
2. 研究紹介「生体リズムを考慮した光環境評価」(岩田委員)
3. ワーキング活動(学術論文調査)についての計画検討と進捗状況確認

第四回委員会

日 時：平成 19 年 3 月 8 日(木) 13:30 ~ 16:10

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

岩田，古賀，菅沼，田澤，東，樋口，望月 各委員

欠席者：江湖，河本，佐々木，重光，鈴木，中村，明道，渡貫 各委員

オブザーバー：伊藤(東海大学)，天野(九州大学)

【会議概要】

1. 新委員の就任紹介
2. 研究紹介「夜間の光曝露によるメラトニンの分泌抑制の個人差，季節差，民族差について」(樋口委員)
3. ワーキング活動(学術論文調査)についての進捗状況確認
4. CIE 北京大会における関連演題紹介
5. 委員名簿確認

第五回委員会

日 時：平成 19 年 6 月 5 日(火) 13:30 ~ 15:00

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

古賀，佐々木，菅沼，鈴木，田澤，東，森下 各委員

欠席者：岩田，河本，重光，中村，樋口，明道，望月，渡貫 各委員

オブザーバー：小川(九州大学)，天野(九州大学)

【会議概要】

1. 委嘱状の発行について
2. 委員名簿確認
3. 研究紹介「単波長光の波長と脳波」(東委員)
4. 論文紹介：“Short-Wavelength Sensitivity for the Direct Effects of Light on Alertness, Vigilance and the Waking Electroencephalogram in Humans (Steven Lockley 著)” (野口幹事)
5. 論文調査ワーキングにおける対象論文選定
6. シンポジウム “Light, Performance and Quality of life” の紹介

第六回委員会

日 時：平成 19 年 9 月 4 日（火）13:30 ~ 16:45

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

森下，古賀，重光，鈴木，東，樋口 各委員

欠席者：岩田，河本，佐々木，菅沼，田澤，中村，明道，望月，渡貫 各委員

【会議概要】

1．ワーキンググループ活動における学術論文調査報告

1-1. 論文紹介：“Dim Light Adaptation Attenuates Acute Melatonin Suppression in Humans (Samar A. Jasser 著)”(野口幹事)

1-2. 論文紹介：“Inferior Retinal Light Exposure is More Effective than Superior Retinal Exposure in Suppression Melatonin in Humans (Gene Glickman 著)”(高橋幹事)

1-3. 論文紹介：“High Sensitivity of the Human Circadian Melatonin Rhythms to Resetting by Short Wavelength Light (Steven W. Lockley 著)”(森下委員)

1-4. 論文紹介：“Effect of Light Treatment on Sleep and Circadian Rhythms in Demented Nursing Home Patients (Sonia Ancoli-Israel 著)”(鈴木委員)

1-5. 論文紹介：“High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation and Heart Rate to Short Wavelength Light (Christian Cajochen 著)”(東委員)

1-6. 論文紹介：“Phase Advancing Human Circadian Rhythms with Short Wavelength Light (Victoria L. Warman 著)”(樋口委員)

2．CIE 北京大会報告

2-1. 第 3 部会「屋内環境と照明設計」カンファレンス

2-2. 第 6 部会「光生物学と光化学」カンファレンス

2-3. 第 3 部会「屋内環境と照明設計」部会・TC 会議

2-4. 第 6 部会「光生物学と光化学」部会・TC 会議

第七回委員会

日 時：平成 19 年 11 月 21 日（火）13:30 ~ 16:30

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

鈴木，東，望月，森下，渡貫 各委員

伊藤，菅野（オブザーバー）

欠席者：岩田，河本，古賀，佐々木，重光，菅沼，田澤，中村，樋口，明道
各委員

【会議概要】

1. 新任委員の就任紹介
2. 研究紹介「日本の夜間屋外における曝露光量の実測調査」(望月委員)
3. SOLG シンポジウム参加報告(野口幹事)
4. 論文調査ワーキング報告書確認
5. RECOMMENDATION: "Light and Health in the Workplace" (オランダ) の調査実施に関する協議

第八回委員会

日 時：平成 20 年 2 月 14 日 (木) 13:30 ~ 16:20

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事
菅野，鈴木，田澤，東，樋口，望月 各委員
伊藤 (オブザーバ)

欠席者：岩田，森下，河本，古賀，佐々木，重光，菅沼，中村，明道，渡貫
各委員

【会議概要】

1. 新委員の就任紹介
2. 研究紹介「メラトニン抑制率算出式の実環境への適用」(高橋幹事)
3. RECOMMENDATION: "Light and Health in the Workplace" (オランダ) の概要報告
4. 平成 20 年度事業計画についての確認
5. 委員会報告書構成についての協議

第九回委員会

日 時：平成 20 年 4 月 16 日 (木) 13:30 ~ 17:10

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事，
岩田，森下，菅野，東 各委員

欠席者：河本，古賀，佐々木，重光，菅沼，鈴木，田澤，中村，樋口，明道，望月，
渡貫，伊藤 各委員

【会議概要】

1. 新委員の就任紹介
2. フィリップス社蛍光灯 (ActiViva : 17000K) の分光分布および予測される作用量について (高橋幹事)
3. RECOMMENDATION : Light and Health in the Workplace (オランダ) の全文

翻訳読み合わせ(1)

第十回委員会

日 時：平成20年7月14日(月)13:30 ~ 17:00

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

古賀，佐々木，菅野，鈴木，田澤，樋口，望月，森下 各委員

欠席者：岩田，河本，重光，菅沼，中村，東，明道，渡貫，伊藤 各委員

【会議概要】

1. 研究紹介「サーカディアンリズムへの作用定量化を目的とした高ダイナミックレンジカメラの検討」(鈴木委員)
2. RECOMMENDATION: Light and Health in the Workplace (オランダ)の全文翻訳読み合わせ(2)
3. 委員会報告書の構成と執筆計画に関する協議

第十一回委員会

日 時：平成20年10月14日(木)13:30 ~ 16:50

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

森下，佐々木，菅野，鈴木，東，樋口，明道，伊藤 各委員

欠席者：岩田，河本，古賀，重光，菅沼，田澤，中村，望月，渡貫 各委員

【会議概要】

1. 研究紹介「夜間の低照度光曝露がメラトニン分泌に及ぼす影響」「就寝前の低色温度光曝露がメラトニン分泌に及ぼす影響」(野口幹事)
2. Society for Research on Biological Rhythms (SRBR) Program and Abstract 参加報告(樋口委員)
3. デンマーク高齢者施設調査報告(鈴木委員)
4. 次年度新設委員会の申請状況報告
5. 委員会報告書の構成と執筆計画協議
6. 国際がん研究機関(IARC)のプレスリリース紹介
7. Light Symposium Wismar 2008の紹介

第十二回委員会

日 時：平成21年1月15日(木)13:30 ~ 16:00

場 所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

岩田，佐々木，菅野，鈴木，田澤，中村，東，樋口，望月，森下 各委員

欠席者：伊藤，河本，古賀，重光，菅沼，明道，渡貫 各委員

【会議概要】

- 1．研究紹介「生理的影響を超える人体への光作用」(佐々木委員)
- 2．委員会報告書の執筆進捗状況確認と構成に関する協議
- 3．新設委員会についての状況報告

第十三回委員会

日時：平成21年3月17日(火) 15:00 ~ 17:00

場所：照明学会 第一会議室

出席者：阪口委員長，高橋幹事，野口幹事

岩田，森下，佐々木，菅野，東 各委員

欠席者：河本，古賀，重光，菅沼，鈴木，田澤，中村，樋口，明道，望月，渡貫，
伊藤 各委員

【会議概要】

- 1．委員会報告書(ドラフト)の内容確認
- 2．新設委員会の方向性に関する協議

2. 技術解説

2-1. 光受容メカニズム

光はヒトに色や形，明るさなどの情報を知覚させるだけではなく，ヒトの生理面に様々な影響を与えている．生理面には脳活動に代表される中枢神経系，循環器や呼吸器，消化器，内分泌などの働きを自律的に調節する自律神経系などがある．光がヒトの生理面に及ぼす影響は視覚イメージによって形成された心理的なものとは独立していると考えられている．ここでは光がヒトの生理面へ影響を及ぼすメカニズムについてこれまでに分かっている知見を解説する．

網膜にある桿体と錐体だけが眼球に存在する唯一の光受容器であると考えられてきた．しかし，光覚のない盲目のヒトの中にメラトニン（夜間に分泌されるホルモン）分泌が光の影響を受ける者がいることが報告されている¹⁾．また，眼球が1つ以上ある盲目患者の多くでメラトニンの分泌リズムが24時間周期だったのに対して，眼球のない盲目患者の多くでメラトニンの分泌リズムが24時間周期から逸脱していることが報告されている²⁾．このようなことから，生理面へ影響を及ぼす光入力には桿体・錐体というこれまで光受容器として考えられていたものとは別の光受容器が眼にあることが示唆されている．眼球以外の光受容器としては，鳥類では網膜以外に光受容器があることが報告されており，ヒトでは膝の裏に光受容器があるという驚くべき報告がされた³⁾．しかし，その結果は著者ら以外に再現した者がなく，今日では否定されている⁴⁾．桿体・錐体以外の光受容器はラットの網膜から発見⁵⁾され，その光受容器は視物質メラノプシンを含む少数の網膜神経節細胞（intrinsically photosensitive retinal ganglion cell : ipRGC）であった．この新規光受容器の神経出力は概日リズムや瞳孔反射に作用する脳内の部位に連絡していた⁶⁾．この新規光受容器はヒトの網膜にもあることが示唆されており⁷⁾，瞳孔反射の実験からヒトにも

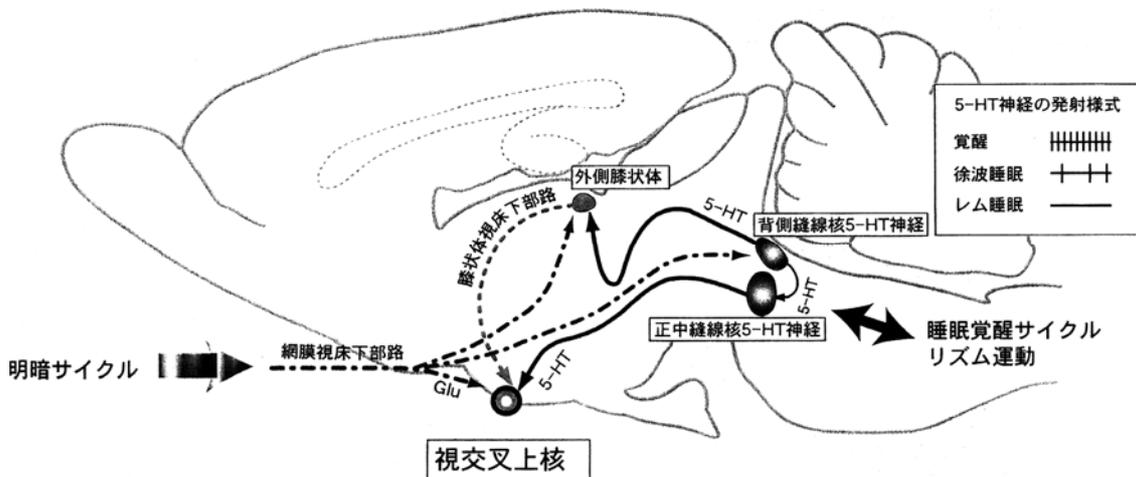


図 2-1-1 視交叉上核への入力経路¹⁰⁾

(有田，臨床神経科学，2003)

この新規光受容器のものと見られる反応があった⁸⁾。

網膜で受容された光が脳へ伝達される経路は外側膝状体を経て、脳へ伝達される視覚経路のほか、視交叉上核（SCN）を経て、脳内の松果体へ伝達される経路⁹⁾（非視覚経路）が知られている。SCN への信号伝達経路は3通りある¹⁰⁾。1つ目は網膜で受容された光信号が直接 SCN へ伝達される網膜視床下部路（RHT）である。2つ目は外側膝状体を経て SCN へ伝達される膝状体視床下部路（GHT）である。3つ目は縫線核を経て SCN へ伝達される経路である。RHT による SCN への入力経路が主要な光入力だと考えられており、GHT と縫線核を経る経路は修飾的な役割を担っていると考えられる。

光信号は SCN から室傍核（PVN）、内側前脳束（MFB）、網様体（RF）を通して、脊髄の中間室外側核（IML）から脊髄を出て、上頸部交感神経節（SCG）から再び脳内に入って松果体へ達する。この経路上にある視交叉上核（SCN）は日内変動をしている体温やホルモン分泌、睡眠・覚醒サイクルの周期形成に関わる生物時計の中核としての役割を担っている。室傍

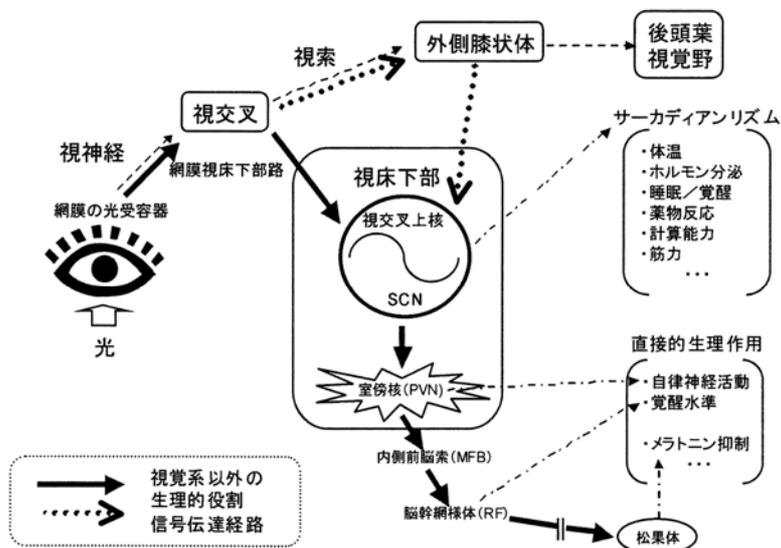


図 2-1-2 光の神経伝達経路とその生理的役割¹¹⁾

（小山，LED 光源の生体安全性規格化WG 報告，2004）

核（PVN）は心臓や肺などを調節している自律神経系および、副腎や甲状腺に作用し、ホルモン分泌に影響を与えている。内側前脳束（MFB）は情動行動を生み出す部位と連絡している。網様体（RF）は睡眠や覚醒に代表される大脳の神経活動状態の調節や脊髄への下行性投射により筋活動に影響を与えている。松果体は夜間に分泌量の多くなるメラトニンを合成していて、メラトニンは生体リズムの調節の他、体温や睡眠などに代表される自律神経活動、免疫系へ作用している。

このように光はヒトに色や形、明るさなどの視覚情報を知覚させるだけではなく、別の神経経路によってもその情報は脳へ伝達されている。その神経伝達経路上の様々な部位が生体の機能調節に関与していることから、光が生体へ及ぼす様々な作用はお互いに関連していることが示唆される。

（高橋 良香）

参考文献

- (1) C. A. Czeisler, T. L. Shanahan, E. B. Klerman, H. Martens, D. J. Brotman, J. S.

- Emens, T. Klein and J. F. Rizzo III : Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light, *N Engl J Med*, 332, pp.6-11 (1995).
- (2) S. W. Lockley, D. J. Skene, J. Arendt, H. Tabandeh, A. C. Bird and R. DeFrance : Relationship between melatonin rhythms and visual loss in the blind, *J Clin Endocrinol Metab*, 82, pp.3763-3770 (1997).
- (3) S. S. Campbell and P. J. Murphy : Extraocular circadian phototransduction in humans, *Science*, 279, pp.396-399 (1998).
- (4) S. W. Lockley, D. J. Skene, K. Thapan, J. English, D. Ribeiro, I. Haimov, S. Hampton, B. Middleton, M. von Schantz and J. Arendt : Extraocular light exposure does not suppress plasma melatonin in humans, *J Clin Endocrinol Metab*, 83, pp.3369-3372 (1998).
- (5) D. M. Berson, F. A. Dunn and M. Takao : Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, *Science*, 295, pp.1070-1073 (2002).
- (6) S. Hattar, H. W. Liao, M. Takao, D. M. Berson and K. W. Yau : Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity, *Science*, 295, pp.1065-1070 (2002).
- (7) I. Provencio, I. R. Rodriguez, G. Jiang, W. P. Hayes, E. F. Moreira and M. D. Rollag : A novel human opsin in the inner retina, *J Neurosci*, 20, pp.600-605 (2000).
- (8) P. D. R. Gamlin, D. H. McDougal, J. Pokorny, V. C. Smith, K-W. Yau and D. M. Dacey : Human and macaque pupil responses driven by melanopsin-containing retinal ganglion cells, *Vision Res.*, 47, pp.946-954 (2007).
- (9) D. C. Klein, R. Smoot, J. L. Weller, S. Higa, S. P. Markey, G. J. Creed and D. M. Jacobowitz : Lesions of the paraventricular nucleus area of the hypothalamus disrupt the suprachiasmatic leads to spinal cord circuit in the melatonin rhythm generating system, *Brain Res Bull*, 10, pp.647-652 (1983).
- (10) 有田 : セロトニン神経系 update (3)生物時計の同調機構への影響 , *臨床神経科学* , 21 , pp.616-617 (2003).
- (11) 小山 : 光の非視覚的生理作用 , 照明関連国際規格委員会 技術報告 LED 光源の生体安全性規格化WG 報告 , 日本照明委員会 , pp.33-34 (2004).

2 - 2 . アクションスペクトル

光が生体へ及ぼす影響は様々な指標について調べられている。ここでは、その中でも広く研究されているメラトニン分泌への影響について紹介する。メラトニンは松果体から分泌され、その分泌量は夜間に多く、昼間に少ないという概日リズムを持っている。概日リズムを持つ睡眠・覚醒サイクルや直腸温、コルチゾールなどの他の指標と比べ、メラトニンの分泌リズムは生物時計の中核である視交叉上核 (SCN) 以外の要因による影響を受けづらいことが知られている。

夜間、メラトニン分泌時に明るい光を曝露することで、メラトニン分泌が抑制される¹⁾。この報告では白熱投光照明灯によって 2500 lx という高照度光が用いられていた。しかし、後の報告では光源の分光分布などが異なることで、2500 lx の高照度光でなくても、一般的な日常生活で接する夜間の照度レベルに近い値でメラトニン分泌が抑制されると報告されている。

この光によるメラトニン分泌抑制作用の分光感度特性 (アクションスペクトル) が複数の光強度と単波長光を使って調べられ、そのピーク波長は 460 nm 付近にあることが報告されている^{2, 3)}。この波長特性は 555 nm にピーク波長をもつ標準比視感度関数 $V(\lambda)$ と異なることから、メラトニン分泌抑制の光受容メカニズムは視覚のためのものとは異なるものだと考えられる。また、メラトニン分泌抑制のアクションスペクトルを使った照度に相当する測光量⁴⁾からはメラトニン分泌抑制効果が説明できないことが報告されている⁵⁾。このような検証は応用に際して必要であり、さらなる知見の集積が待たれる。

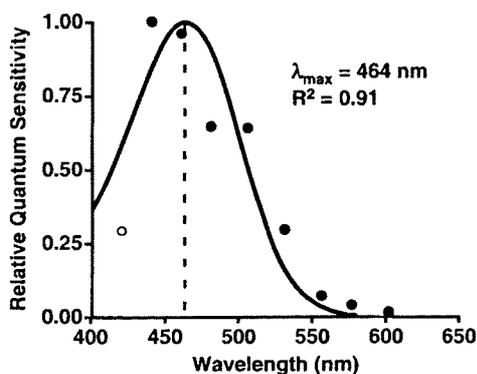


図 2-2-1 メラトニン分泌抑制のアクションスペクトル²⁾

(Brainard et al, J Neurosci, 2001)

(高橋 良香)

参考文献

- (1) A. J. Lewy, T. A. Wehr, F. K. Goodwin, D. A. Newsome and S. P. Markey : Light suppresses melatonin secretion in humans, Science, 210, pp.1267-1269 (1980).
- (2) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner and M. D. Rollag : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, J Neurosci, 21, pp.6405-6412 (2001).
- (3) K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene : An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, J Physiol, 535, pp.261-267 (2001).

- (4) M. S. Rea, J. D. Bullough and M. G. Figueiro : Phototransduction for human melatonin suppression, *J Pineal Res*, 32, pp.209-213 (2002).
- (5) M. G. Figueiro, J. D. Bullough, R. H. Parsons and M. S. Rea : Preliminary evidence for spectral opponency in the suppression of melatonin by light in humans, *Neuroreport*, 15, pp.313-316 (2004).

2 - 3 . 測光・作用評価

光環境の設計の際に利用されている照度や三刺激値は視覚特性に関連した知見と矛盾がなく、広く利用されてきた。しかし、光がヒトの生理面に及ぼす影響を考慮した光環境の設計をする際、夜間の光曝露によるメラトニン分泌抑制の知見を基にすると、その波長特性や光受容メカニズムは視覚特性に基づくこれまでに利用されてきたものとは異なることが報告されている。そのため、視覚特性とは異なるこれらの特性に合わせて、光環境設計を再考する必要があると言えるだろう。本章では、これまでに分かっている知見を利用した応用に向けての取り組みを紹介する。

2 - 3 - 1 . メラトニン分泌抑制の生理学的モデル

夜間の光曝露によるメラトニン分泌抑制の波長特性は標準比視感度 $V(\lambda)$ よりも短波長域にピーク波長があることが報告されている^{1, 2)}。この波長特性をS錐体と桿体の分光感度を組み合わせて表す試み(S-Cone + 0.67 rod)が報告されている³⁾。また、Thapanら²⁾の実験結果を網膜上にある光受容器自体の分光吸収特性(テンプレート)

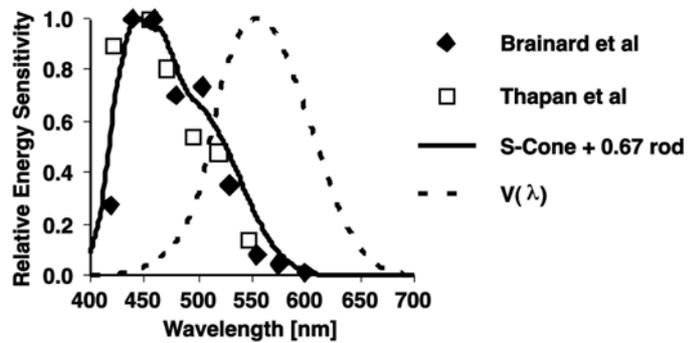


図 2-3-1 メラトニン分泌抑制の波長特性^{1, 2)}とその生理学的モデル³⁾、標準比視感度 $V(\lambda)$

を使い、65%のS錐体($\lambda_{max}=420$ nm)と35%の桿体(500 nm)のテンプレートを組み合わせることで最も良い当てはめが得られたという報告⁴⁾もある。

2 - 3 - 2 . メラトニン分泌抑制率の概算

光が生体へ及ぼす効果の波長特性は視覚に関するものと大きく異なることから、これまで光環境設計時に利用してきた光源の特徴を表すための方法をそのまま利用することができない。そのため、メラトニン分泌抑制のアクションスペクトルと光強度に対する反応曲線の知見を使って、光環境設計時によく利用されている相関色温度と照度を使って、これらで表される2次元平面上に、Brainardらの実験結果から予測されるメラトニン分泌抑制率を表す試みが報告されている⁵⁾。

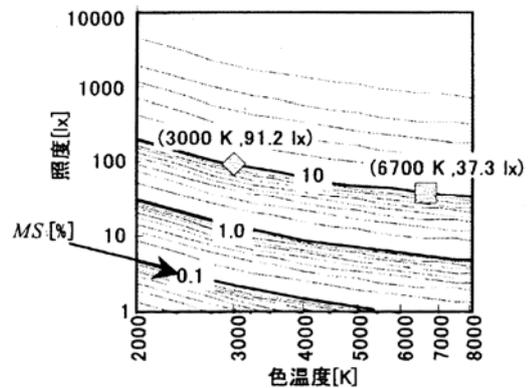


図 2-3-2 相関色温度と照度の平面におけるメラトニン分泌抑制率⁵⁾

(久保田ら、建学環論、2005)

2 - 3 - 3 . 光源間のメラトニン分泌抑制作用の比較

各種光源の色の見え方が相関色温度や平均演色評価数を使って評価できるように、光が生体へ及ぼす効果を評価する方法が考えられている。表 2-3-1 に、CIE 標準の光 2 種類、蛍光灯 14 種類、HID ランプ 5 種類、白色 LED(青色 LED + 黄色蛍光体) 4 種類の合計 25 種類の光源の相関色温度、平均演色評価数、メラトニン抑制係数 α 、メラトニン抑制指数 β を示す。この表の数値は、筆者らが各種光源(CIE 標準の光を除く)の分光分布を実測し、独自に計算したものである⁶⁾。

メラトニン抑制係数 α 、メラトニン抑制指数 β は光の波長によらずメラトニン分泌抑制率 Y と光強度 X の関係が同じ形(“メラトニン分泌抑制率の最大値”, “最小値”, “最大値と最小値の間の曲線の傾き”が光源によらず同一)で、光強度方向に平行移動する傾向があることを利用している。

メラトニン抑制係数 α は Brainard らの実験結果を基にして、CIE 標準の光 A を基準に同じメラトニン分泌抑制効果を得るのに必要な照度の倍数を示している。例えば、CIE 標準の光 D65 は CIE 標準の光 A の照度値の 0.40 倍の照度値で同じメラトニン分泌抑制効果が得られる。メラトニン抑制係数 α が小さいと低照度でもメラトニン分泌が抑制されやすい光源だと言える。メラトニン抑制指数 β はメラトニン抑制係数 α の逆数である。メラトニン抑制指数 β が大きい光源はメラトニン抑制効果が高いと言える。

2 - 3 - 4 . 他の効果との対応

光が生体へ及ぼす影響に関する知見のうち、夜間の光曝露によるメラトニンの分泌抑制効果はメラトニン分泌抑制率という形で光が生体へ及ぼす影響を定量化することができる。しかし、その値が生体にどのような影響を与えるかは明らかになっていない。そのため、メラトニンの分泌抑制率の値がどのような意味を持っているのかを明らかにする必要がある。ここでは、メラトニンの分泌抑制率とメラトニンの分泌リズムの位相シフトの関係性

表 2-3-1 各種光源の相関色温度 T_c と平均演色評価数 R_a 、メラトニン抑制係数 α 、メラトニン抑制指数 β ⁶⁾
(高橋ら、カラーフォーラム JAPAN2007, 2007)

名称	T_c [K]	R_a	α	β
CIE 標準の光 D65	6504	100	0.40	2.53
CIE 標準の光 A	2856	100	1.00	1.00
D65 近似蛍光灯	6400	95	0.43	2.33
3 波長昼光色蛍光灯	6560	85	0.46	2.18
普通昼光色蛍光灯	6340	72	0.47	2.13
VITA-LITE	5510	90	0.51	1.94
高演色昼白色蛍光灯	5180	98	0.53	1.89
3 波長昼白色蛍光灯	4860	84	0.60	1.68
普通昼白色蛍光灯	4980	67	0.58	1.73
高演色白色蛍光灯	4480	93	0.64	1.56
3 波長白色蛍光灯	4020	87	0.70	1.42
普通白色蛍光灯	4210	59	0.74	1.35
3 波長温白色蛍光灯	3550	83	0.87	1.15
普通温白色蛍光灯	3510	54	0.93	1.08
高演色電球色蛍光灯	2810	96	1.15	0.87
3 波長電球色蛍光灯	2980	86	1.05	0.95
メタルハライドランプ	5930	58	0.54	1.86
水銀ランプ	5470	14	0.70	1.43
蛍光水銀ランプ	3940	38	0.83	1.20
高圧ナトリウムランプ	1880	27	2.54	0.39
低圧ナトリウムランプ	-	-	9.43	0.11
白色 LED7500K	7550	84	0.41	2.42
白色 LED5100K	5080	79	0.61	1.65
白色 LED4000K	4000	80	0.70	1.44
白色 LED2800K	2840	75	0.97	1.04

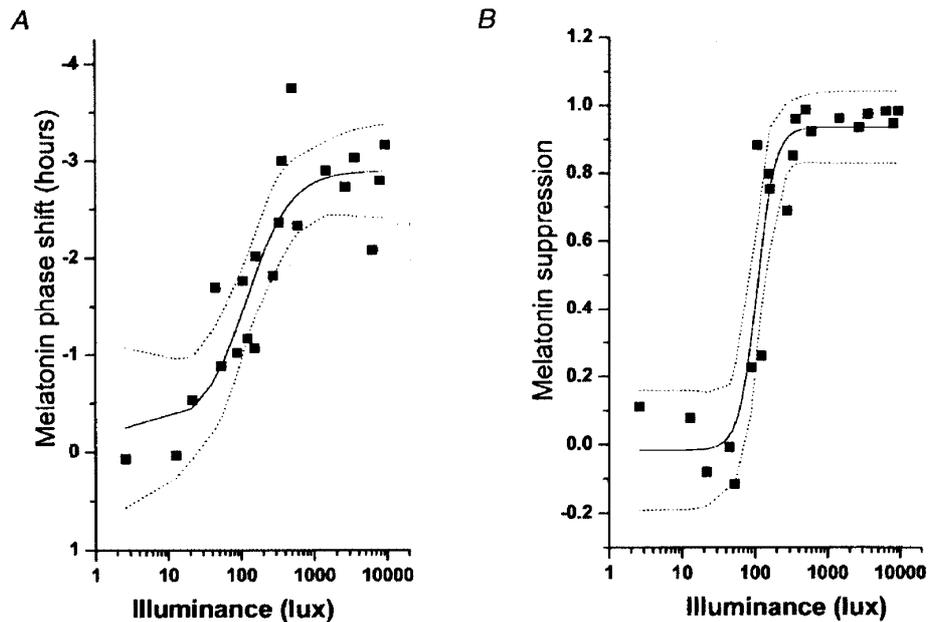


図 2-3-3 照度とメラトニン位相シフト (A), 照度とメラトニン分泌抑制率 (B) の関係⁷⁾
(Zeitler et al, J Physiol, 2000)

について報告している研究を紹介する。

夜間に 6.5 時間の光曝露を行い、複数の照度条件によるメラトニンの位相シフト量とメラトニンの分泌抑制率が調べられた⁷⁾。照度とこれらの作用との間の関係を表す数式が作成され、これらの作用の最大の反応量の半分の反応量が得られる照度の値はメラトニンの位相シフト量が 119 lx, メラトニンの分泌抑制率が 106 lx となり、ほぼ同じ値だった。また、照度と反応量との勾配はメラトニンの位相シフトの方が緩やかに変化しており、メラトニンの分泌抑制率の方が急峻な変化をしていた。メラトニン分泌抑制とメラトニン位相シフトのそれぞれの反応の仕方で見られた関係性を今後、他の指標についても明らかにする必要があるだろう。

(高橋 良香)

参考文献

- (1) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner and M. D. Rollag : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, J Neurosci, 21, pp.6405-6412 (2001).
- (2) K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene : An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, J Physiol, 535, pp.261-267 (2001).

- (3) M. S. Rea, J. D. Bullough and M. G. Figueiro : Phototransduction for human melatonin suppression, *J Pineal Res*, 32, pp.209-213 (2002).
- (4) デボラ ジェイ スケーネ, ジョセフィン アレント, カヴィタ タパン, ヘリット イェー ファン デン ベルト, ベトラス イェー エム ファン デル ブルフト : 人間被験者の注意力の制御方法及びこの方法に使用する光源, 特表 2004-508106 (2004).
- (5) 久保田, 岩田 : 生体リズムを考慮した光環境評価, *建学環論*, 596, pp.15-20 (2005).
- (6) 高橋, 勝浦, 下村, 岩永 : メラトニン抑制効果の定量化, *カラーフォーラム JAPAN2007*, pp.25-28 (2007)
- (7) J. M. Zeitzer, D. J. Dijk, R. Kronauer, E. Brown and C. Czeisler : Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression, *J Physiol*, 526, pp.695-702 (2000).

2 - 4 . サーカディアンリズム障害への光療法およびアプリケーション

2 - 4 - 1 . 基本コンセプト

光はヒトのサーカディアンリズムに多大な影響を及ぼす。深部体温の最低点近辺における受光はそのリズム位相を前進・後退させることが古くから知られている。また夜間の受光はメラトニンの分泌を抑制するが、一方で日中の受光は夜間のメラトニン分泌をサポートすると考えられている。加えて、タイミングを問わず、受光により覚醒度は即効的に上昇する。これらの作用から、生体リズム異常やそれと関連しているとされる季節性感情障害（冬季うつ病）への対処法としての光療法は確立されつつあり、海外旅行時の時差ぼけ対策や交代勤務への適応促進などのアプリケーションも検討されている（なお光療法に関しては、前身の委員会報告書も参照いただきたい。）

2 - 4 - 2 . 光療法の有効性検証

時差ぼけや交代勤務を含むサーカディアンリズム異常への様々な対処について、The American Academy of Sleep Medicine（AASM）の標準化委員会（Standard of Practice Committee）は過去に報告された学術論文のレビューによりその有効性の検証を行い、各対処法に対して科学的根拠の充実度に応じて Standard, Guideline, Option の格付けを行っている。

Morgenthaler TI et al., Practice parameters for the clinical evaluation and treatment of circadian rhythm sleep disorders; An American academy of sleep medicine report, SLEEP, 30(11), 1445-1459, 2007

そのうち上述の光療法および光を応用したアプリケーションについて以下に紹介する。

（ 1 ） 交代勤務障害への対処（Guideline）

夜間勤務中、様々なスケジュールで 2350～12000lx の高照度光照射を行う（日中の受光を制限する場合もあり）ことで、勤務時のパフォーマンスや覚醒度、気分が向上することが報告されている。また、一部の研究では、サーカディアンリズム位相の変化や日中の睡眠の向上も併せて示唆されている。

<文献> 研究の妥当性に応じて Level 1（最高レベル）から Level 5 に分類

Level 2 :

Yoon, IY, Jeong, DU, Kwon, KB, Kang, SB, and Song, BG. Bright light exposure at night and light attenuation in the morning improve adaptation of night shift workers. Sleep 2002;25:351-356.

Level 3 :

Stewart, KT, Hayes, BC, and Eastman, CI. Light treatment for NASA

shiftworkers. *Chronobiology International* 1995;12:141-151.

Boivin, DB, and James, FO. Circadian adaptation to night-shift work by judicious light and darkness exposure. *Journal of Biological Rhythms* 2002;17:556-567.

Budnick, LD, Lerman, SE, and Nicolich, MJ. An evaluation of scheduled bright light and darkness on rotating shiftworkers: trial and limitations. *American Journal of Industrial Medicine* 1995;27:771-778.

Costa, G, Ghirlanda, G, Minors, DS, and Waterhouse, JM. Effect of bright light on tolerance to night work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 1993;19:414-420.

Lowden, A, Akerstedt, T, and Wibom, R. Suppression of sleepiness and melatonin by bright light exposure during breaks in night work. *Journal of Sleep Research* 2004;13:37-43.

Level 4 :

Bjorvatn, B, Kecklund, G, and Akerstedt, T. Bright light treatment used for adaptation to night work and re-adaptation back to day life. A field study at an oil platform in the North Sea. *J Sleep Res* 1999;8:105-112.

(2) 時差ぼけへの対処 (Option)

3000lx 以上の高照度光照射を行うことによりサーカディアンリズム位相変化の促進が確認されている .ただし位相変化が促進されたとしても ,自覚症状や睡眠の質 ,パフォーマンスには顕著な差が見られない場合もあり .

< 文献 >

Level 2 :

Burgess, HJ, Crowley, SJ, Gazda, CJ, Fogg, LF, and Eastman, CI. Preflight adjustment to eastward travel: 3 days of advancing sleep with and without morning bright light. *Journal of Biological Rhythms* 2003;18:318-328.

Boulos, Z, Macchi, MM, Sturchler, MP, et al. Light visor treatment for jet lag after westward travel across six time zones. *Aviation Space & Environmental Medicine* 2002;73:953-963.

(3) 睡眠相前進障害 (ASPD) への対処 (Option)

サーカディアンリズム位相の後退が生じるタイミングにおいて高照度光照射を行うことで位相前進を抑制することが期待されるが ,その効果については一貫性が低い .

< 文献 >

Level 2 :

Campbell, SS, Dawson, D, and Anderson, MW. Alleviation of sleep maintenance insomnia with timed exposure to bright light. *J Am Geriatr Soc* 1993;41:829-836.

Suhner, AG, Murphy, PJ, and Campbell, SS. Failure of timed bright light exposure to alleviate age-related sleep maintenance insomnia. *Journal of the American Geriatrics Society* 2002;50:617-623.

Lack, L, Wright, H, Kemp, K, and Gibbon, S. The treatment of early-morning awakening insomnia with 2 evenings of bright light. *Sleep* 2005;28:616-623.

Pallesen, S, Nordhus, IH, Skelton, SH, Bjorvatn, B, and Skjerve, A. Bright light treatment has limited effect in subjects over 55 years with mild early morning awakening. *Perceptual & Motor Skills* 2005;101:759-770.

Level 3 :

Palmer, CR, Kripke, DF, Savage, HC, Jr., Cindrich, LA, Loving, RT, and Elliott, JA. Efficacy of enhanced evening light for advanced sleep phase syndrome. *Behavioral Sleep Medicine* 2003;1:213-226.

Level 4 :

Lack, L, and Wright, H. The effect of evening bright light in delaying the circadian rhythms and lengthening the sleep of early morning awakening insomniacs. *Sleep* 1993;16:436-443.

Moldofsky, H, Musisi, S, and Phillipson, EA. Treatment of a case of advanced sleep phase syndrome by phase advance chronotherapy. *Sleep* 1986;9:61-65.

(4) 睡眠相後退障害 (DSPD) への対処 (Guideline)

朝の起床時刻付近で 2500lx の高照度光照射を 2~3 時間実施することによる , サークァディアンリズム位相の前進や日中の覚醒度上昇が報告されている . ただし , それより低照度での作用や , 波長特性 (短波長光の効果) などについては解明されていない .

< 文献 >

Level 1 :

Cole, RJ, Smith, JS, Alcala, YC, Elliott, JA, and Kripke, DF. Bright-light mask treatment of delayed sleep phase syndrome. *Journal of Biological Rhythms* 2002;17:89-101.

Level 2 :

Rosenthal, NE, Joseph-Vanderpool, JR, Leventosky, AA, et al. Phase-shifting effects of bright morning light as treatment for delayed sleep phase syndrome.

Sleep 1990;13:354-361.

(5) フリーランニング型睡眠障害への対処 (Option)

朝の光照射によるサーカディアンリズム位相の同調が確認されている .

Level 4 :

Oren, DA, Giesen, HA, and Wehr, TA. Restoration of detectable melatonin after entrainment to a 24-hour schedule in a 'free-running' man. Psychoneuroendocrinology 1997;22:39-52.

Hayakawa, T, Kamei, Y, Urata, J, Shibui, K, Ozaki, S, Uchiyama, M, and Okawa, M. Trials of bright light exposure and melatonin administration in a patient with non-24 hour sleep-wake syndrome. Psychiatry & Clinical Neurosciences 1998;52:261-262.

Hoban, TM, Sack, RL, Lewy, AJ, Miller, LS, and Singer, CM. Entrainment of a free-running human with bright light? Chronobiology International 1989;6:347-353.

Okawa, M, Uchiyama, M, Ozaki, S, Shibui, K, Kamei, Y, Hayakawa, T, and Urata, J. Melatonin treatment for circadian rhythm sleep disorders. Psychiatry & Clinical Neurosciences 1998;52:259-260.

Watanabe, T, Kajimura, N, Kato, M, Sekimoto, M, Hori, T, and Takahashi, K. Case of a non-24 h sleep-wake syndrome patient improved by phototherapy. Psychiatry & Clinical Neurosciences 2000;54:369-370.

(6) 概日リズム性睡眠障害への対処 (Option)

() 光のみによる対処

主に認知症高齢者を対象とし , 高照度照射による睡眠 / 覚醒リズムの向上が報告されている . 光照射は 1500 ~ 8000lx で 2 時間程度 , 朝や夕刻あるいは日中を通して行われている . ただし , 2500lx 以上の照度で 2 時間の光照射を行った Dowling らの報告では , 有効性が確認されていない .

< 文献 >

Level 2 :

Ancoli-Israel, S, Gehrman, P, Martin, JL, Shochat, T, Marler, M, Corey-Bloom, J, and Levi, L. Increased light exposure consolidates sleep and strengthens circadian rhythms in severe Alzheimer's disease patients. Behavioral Sleep Medicine 2003;1:22-36.

Ancoli-Israel, S, Martin, JL, Kripke, DF, Marler, M, and Klauber, MR. Effect of light treatment on sleep and circadian rhythms in demented nursing home

patients. *Journal of the American Geriatrics Society* 2002;50:2829.

Dowling, GA, Hubbard, EM, Mastick, J, Luxenberg, JS, Burr, RL, and Van Someren, EJ. Effect of morning bright light treatment for rest-activity disruption in institutionalized patients with severe Alzheimer's disease. *Int Psychogeriatr* 2005;17:221-236.

Van Someren, EJ, Kessler, A, Mirmiran, M, and Swaab, DF. Indirect bright light improves circadian rest-activity rhythm disturbances in demented patients. *Biol Psychiatry* 1997;41:955-963.

Level 3 :

Fetveit, A, Skjerve, A, and Bjorvatn, B. Bright light treatment improves sleep in institutionalised elderly--an open trial. *International journal of geriatric psychiatry* 2003;18:520-526.

Mishima, K, Okawa, M, Hishikawa, Y, Hozumi, S, Hori, H, and Takahashi, K. Morning bright light therapy for sleep and behavior disorders in elderly patients with dementia. *Acta Psychiatrica Scandinavica* 1994;89:1-7.

Level 4 :

Fetveit, A, and Bjorvatn, B. The effects of bright-light therapy on actigraphical measured sleep last for several weeks post-treatment. A study in a nursing home population. *Journal of Sleep Research* 2004;13:153-8.

Satlin, A, Volicer, L, Ross, V, Herz, L, and Campbell, S. Bright light treatment of behavioral and sleep disturbances in patients with Alzheimer's disease. *American Journal of Psychiatry* 1992;149:1028-1032.

() 光を含む複合手段による対処

認知症高齢者などを対象として、日中の高照度照射に加え運動や睡眠/覚醒スケジュールの採用を行うことにより、日中の居眠りおよび夜間の中途覚醒の減少、うつ症状の改善などが報告されている。

<文献>

Level 1 :

McCurry, SM, Gibbons, LE, Logsdon, RG, Vitiello, MV, and Teri, L. Nighttime insomnia treatment and education for Alzheimer's disease: a randomized, controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society* 2005;53:793-802.

Level 2 :

Alessi, CA, Martin, JL, Webber, AP, Cynthia Kim, E, Harker, JO, and Josephson, KR. Randomized, controlled trial of a nonpharmacological intervention to improve abnormal sleep/wake patterns in nursing home

residents. J Am Geriatr Soc 2005;53:803-810.

Level 4 :

Guilleminault, C, McCann, CC, Quera-Salva, M, and Cetel, M. Light therapy as treatment of dyschronosis in brain impaired children. European journal of pediatrics 1993;152:754-759.

2 - 4 - 3 . 認知症高齢者への光療法

ヒトにおけるサーカディアンリズム同調では社会的要因（つまり，社会的スケジュールに基づいて時刻情報を頼りに睡眠／覚醒を繰り返すこと）の影響が大きいことが知られているが，認知症患者ではそれが作用しにくくなるため，光を主とした環境要因への配慮が特に重要となる．また，昼夜における睡眠／覚醒リズムのメリハリが悪くなると，深夜の徘徊などのリスクも大きくなり，患者本人のみならず介護者においても心身の負担の増大へとつながる可能性がある．実際，認知症患者の生活空間を高照度化することにより，日中の覚醒度上昇や夜間の中途覚醒，問題行動の減少，および介護負担の減少などを報告した例もある¹⁾．

オランダの Someren らの研究グループは，認知症高齢者への光療法がサーカディアンリズムのみならず認知機能に及ぼす影響についても検討を進めている．最新の研究報告²⁾では，日中 1000lx と 300lx の光環境で平均 15 ヶ月間（最大 3.5 年間）生活した際の認知症高齢者において，その認知機能の変動について調査が行われ，高照度環境では認知機能の改善において効果が見られたことが示唆されている．本報告は光環境の改善（日中の補光）が高齢者のサーカディアンリズム機能のみならず認知機能の維持・改善にも効果的である可能性を示唆する画期的なものであり，今後も類似したデータが蓄積されれば，高齢者の生活環境照明における絶対的な要件ともなり得るであろう．

（野口 公喜）

参考文献

- 1) Noguchi. H, Ito. T, Koyama. E, Katayama. S. Daytime bright light therapy for elderly in care facilities, 2nd CIE Expert Symposium on Lighting & Health Abstracts, 79-80, 2006
- 2) Riemersma-van der Lek RF, Swaab DF, Twisk J, Hol EM, Hoogendijk WJ, Van Someren EJ. Effect of bright light and melatonin on cognitive and noncognitive function in elderly residents of group care facilities: a randomized controlled trial., JAMA., 299(22), 2642-55, 2008

2 5 . 交代勤務と夜間照明光

前身の委員会報告書において、疫学的調査の結果から夜勤に従事する女性において乳癌の発症リスクが増大すること¹⁾、動物実験において夜間の受光によりメラトニン分泌が抑制されると癌細胞の成長が促進されること²⁾などが報告されており、夜勤時の照明への曝露と癌発症リスクとの何らかの関連が懸念されていることについて述べた。そして 2007 年 12 月 5 日、世界保健機関 (WHO) の外部組織である国際がん研究機関 (IARC) は上記を含む多くの学術報告に基づいて、交代勤務と癌発症リスクに関するプレスリリースを発表した。

IARC によるプレスリリース

“ IARC Monographs Programme finds cancer hazards associated with shiftwork, painting and firefighting ”

<http://www.iarc.fr/en/Media-Centre/IARC-Press-Releases/Communiqués-recents/IARC-Monographs-Programme-finds-cancer-hazards-associated-with-shiftwork-painting-and-firefighting>

“ Epidemiological studies have found that long-term nightworkers have a higher risk of breast cancer risk than women who do not work at night. These studies have involved mainly nurses and flight attendants. The studies are consistent with animal studies that demonstrate that constant light, dim light at night, or simulated chronic jet lag can substantially increase tumour development. Other experimental studies show that reducing melatonin levels at night increases the incidence or growth of tumours.

These results may be explained by the disruption of the circadian system that is caused by **exposure to light at night**. This can alter sleep-activity patterns, suppress melatonin production, and dysregulate genes involved in tumour development. Among the many different patterns of shiftwork, those that include nightwork are most disruptive to the circadian system. “(上記プレスリリースより引用)

上記のように、IARC はその原因として「夜間の照明光への曝露」を明記した上で交代勤務による発癌をグループ 2A (The agent is probably carcinogenic to humans) に分類した。グループ 2A は「ヒトを対象とした根拠は限定的であるものの、動物実験においては十分な根拠がある」と判断されたものが分類されるカテゴリであり、その影響力は軽微ではないことが予想される。しかしながら、交代勤務そのものの廃止や交代勤務時の照明の撤廃は現実的ではない。光によるメラトニンの分泌抑制においては、光の波長特性、強度、曝露タイミングにより作用が大きく変動することから、それらを考慮することにより

上記のような悪影響を軽減した照明環境の検討と提案が急務となるであろう。

(野口 公喜)

参考文献

- 1) Davis S, Mirick DK, Stevens RG (2001): Night shift work, light at night, and risk of breast cancer., J Natl Cancer Inst., 93(20), 1557-62
- 2) Blask DE, Brainard GC, Dauchy RT, Hanifin JP, Davidson LK, Krause JA, Sauer LA, Rivera-Bermudez MA, Dubocovich ML, Jasser SA, Lynch DT, Rollag MD, Zalatan F (2005): Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats., Cancer Res., 65(23), 11174-84

3 . 重要研究調査報告

3 - 1 . 研究者選定

近年，関連するカンファレンスや科学誌において，光（照明）の生物時計機構，睡眠などへの影響に関する重大な報告を行っている以下7名の海外研究者を当委員会にて選定し，近年の研究成果に関する調査を行った．

1) Dr. Brainard G.C.

Department of Neurology, Thomas Jefferson University, USA

2) Dr. Czeisler C.A.

Division of Sleep Medicine, Harvard Medical School, USA

3) Dr. Dijk D.J.

Surrey Sleep Research Centre, Faculty of Health and Medical Sciences, University of Surrey, UK

4) Dr. Kripke D.F.

Department of Psychiatry , University of California, USA

5) Dr. Rea M.S.

Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, USA

6) Dr. Stevens R.G.

University of Connecticut Health Center, USA

7) Dr. Wirz-Justice A.

Centre for Chronobiology, Psychiatric University Clinics, Basel, Switzerland

3 - 2 . 研究概要

上記7名の研究者における2001年から2006年（調査実施時点）までの研究業績についてPubMed（www.pubmed.gov）にて調査し，各アブストラクトの翻訳を実施した．

3 - 3 . 重要研究

上記研究者による学術論文のうち，当委員会によって最も重要と思われるものを6編選出し，その詳細について調査を実施した．その調査結果について以下に記す．

< 調査対象論文 >

Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans.

Glickman, G., Hanifin, J.P., Rollag, M.D., Wang, J., Cooper, H., Brainard, G.C.
J Biol. Rhythms., 18(1), pp.71-9 (2003)

Dim light adaptation attenuates acute melatonin suppression in humans.

Jasser, S.A., Hanifin, J.P., Rollag, M.D., Brainard, G.C.
J Biol Rhythms. 21(5), pp.394-404 (2006)

High Sensitivity of the Human Circadian Melatonin Rhythm to Resetting by Short Wavelength Light.

Lockley, S., Brainard, G.C., Czeisler, C.A.
J Clin Endocrinol Metab., 88(9), pp.4502-5 (2003)

Effect of Light Treatment on Sleep and Circadian Rhythms in Demented Nursing Home Patients.

Ancoli-Israel, S., Martin, J.L., Kripke, D.F., Marler, M., Klauber, M.R.
J Am Geriatr Soc, 50, pp.282-289 (2002)

Shift Work, Light at Night, and Breast Cancer on Long Island, New York

O'Leary, E.S., Schoenfeld, E.R., Stevens, R.G., Kabat, G.C., Henderson, K., Grimson, R., Gammon, M.D., Leske, M.C.
Am J Epidemiol., 164(4), pp.358-36 (2006)

High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light.

Cajochen, C., Munch, M., Kriebel, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgul, S., Wirz-Justice, A.
J Clin Endocrinol Metab., 90(3), pp.1311-6. (2005)

下側網膜への光曝露は上側網膜より効果的にヒトのメラトニン分泌を抑制する

【目的】

ヒトを使った研究で光曝露される網膜部位を変化させることでメラトニン抑制に違いがあることが示されている。しかし、網膜の上側と下側を比較した研究では結果が一致していなかった。そこで本報告では網膜の上側と下側、全網膜へのメラトニン抑制効果の違いを比較した。

【実験方法】

<被験者>

被験者は平均年齢 24.9 歳の健康状態が良好な女性 5 名と男性 4 名であった。

<実験方法>

各被験者は各実験の間が少なくとも 1 週間あけられ、5 回の夜間の実験に参加した。被験者は午後 11:45 に実験室に到着し、散瞳剤を点眼後、2 時間目隠しをされた。午前 2:00 に血液が採取され、光曝露が開始された。被験者は 90 分間の光曝露を受けた。光曝露後の午前 3:30 に血液が採取され、すべてのメラトニンレベルが決定された。実験条件は 5 条件があり、ランダムな順番でテストされた。

<実験条件>

- 1)全網膜へ 200 lx , 2)全網膜へ 100 lx ,
- 3)上側網膜へ 200 lx ,4)下側網膜へ 200 lx ,
- 5)暗黒条件

【結果と考察】

時刻と光曝露条件を要因とする 2 元配置分散分析の結果、時刻の有意な主効果 ($p < 0.0001$) と時刻と光曝露条件による有意な交互作用 ($p < 0.04$) がみられた。全網膜への 100 lx と 200 lx、下側網膜への 200 lx は光曝露前後でメラトニンレベルの有意な

抑制がみられた。対照的に上側網膜への 200 lx と暗黒条件では光曝露前後で有意な違いはみられなかった。

<メラノプシンの寄与の可能性>

網膜の上側と下側で光曝露前後のメラトニンレベルの変化が異なったことから、メラトニン抑制を仲介する光変換は網膜部位ごとに特徴があることが考えられる。近年発見されたサーカディアンリズムへの光入力をしていること網膜神経説細胞の光受容細胞であるメラノプシンの網膜上における分布がヒトではまだ明らかにされてなく、ラットでは網膜の上側と外側で高密度に存在することが明らかにされている。生体リズムの中核である視交叉上核へ投射する網膜の光受容細胞の分布が霊長類と齧歯動物で一致する場合、メラノプシンの分布は関係なく、むしろ網膜部位の間で感度の違いがあることが示唆される。

<桿体・錐体の寄与の可能性>

近年の研究から、桿体と錐体から視交叉上核への入力があることが示唆されている。短波長光に感度をもつ S 錐体を欠損しているヒトは稀にしか存在しないことから、S 錐体の寄与の可能性は十分に確かめられていない。複数の霊長類の下側網膜で S 錐体が高密度に存在することから、S 錐体のサーカディアンリズムへの寄与を確かめることは有効かもしれない。

Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans.

Glickman, G., Hanifin, J.P., Rollag, M.D., Wang, J., Cooper, H., Brainard, G.C.
J Biol. Rhythms., 18(1), pp.71-9 (2003)

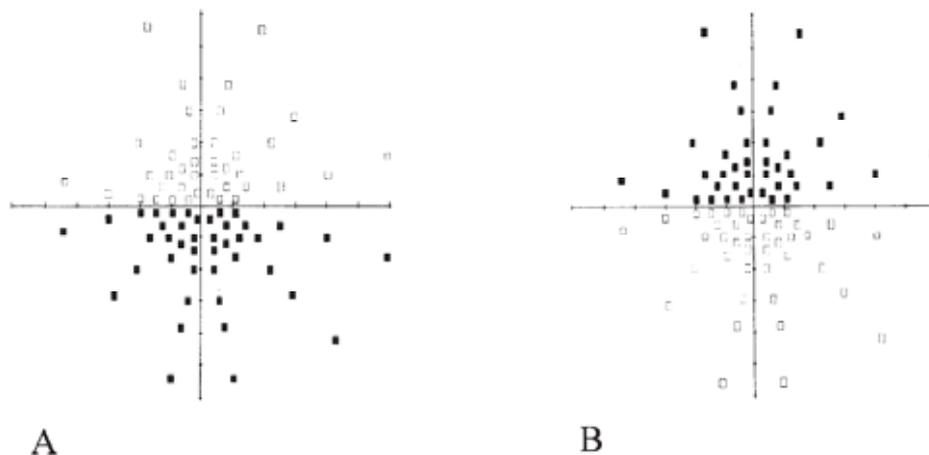


図1. 下側網膜(A), 上側網膜(B)への光曝露時の光刺激()
 (A) 下側網膜への光曝露のため, 改造した目隠しを着用した被験者の右目に見えるスクリーン
 (B) 上側網膜への光曝露のため, 改造した目隠しを着用した被験者の右目に見えるスクリーン
 ◻◻◻被験者には見えない光刺激 ◼◼◼被験者に見える光刺激

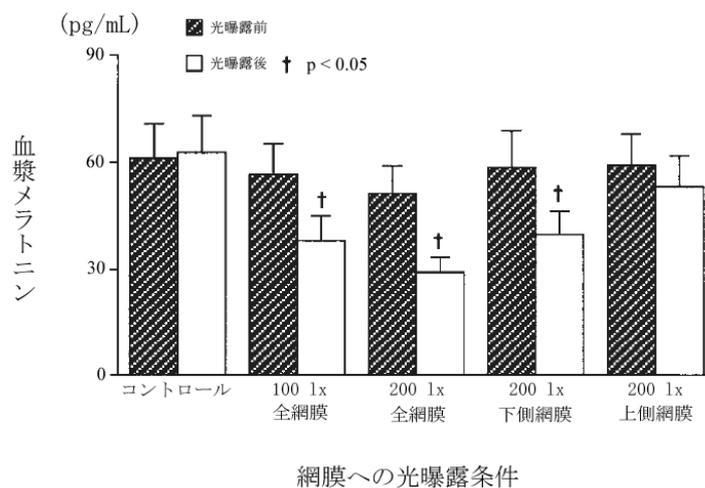


図2. 各種光曝露条件の光曝露前後のメラトニンレベル
 2元配置分散分析の結果, 生のメラトニンレベルによる時刻と光曝露条件の間の有意な交互作用 ($p < 0.04$) がみられた. 100 lx と 200 lx の全網膜への光曝露と 200 lx の下側網膜への光曝露はメラトニンレベルが光曝露の前後でメラトニンの有意な抑制がみられた. 対照的に, 200 lx の上側網膜への光曝露と暗黒条件は光曝露の前後でメラトニンレベルに有意な違いはみられなかった. 誤差棒は平均 + 標準誤差の血漿メラトニンである.

(高橋 良香)

ヒトにおいて弱光への順応がその後のメラトニン抑制を低減する

【目的】

弱光への順応が、その後の光曝露によるメラトニン抑制を減衰させるという動物実験の結果を踏まえ、「同様にヒトでも成立する」という仮説を検証する。

【実験方法】

(1) 被験者

色覚異常のない18歳から30歳までの女性5名、男性3名。

(2) 実験手順

実験のタイムスケジュールを図1に示す。深夜0時から午前2時まで、暗黒（アイマスクを着用）もしくは4cd/m²（約18lx）の白色光（ハロゲンランプ）へ順応させ、2時から3時30分までその順応状態を維持する（コントロール条件）、もしくは460nmの単波長光に曝露した（460nm光条件）。その強度は3.1μW/cm²（実験1）、7.0μW/cm²（実験2）の2段階に設定した。

(3) メラトニン濃度測定

メラトニン濃度測定のための血液サンプリングは、460nm光曝露前後の午前2時（Pre）と3時30分（Post）に実施した。

(4) 光曝露

光曝露はドーム型の曝露装置内に光を拡散させて行った。また、瞳孔径の変化による影響を排除するため、散瞳剤を使用した。

(5) データ処理

血中メラトニン濃度の変化を、以下の式により定量化した。

$$\text{Percent Melatonin Change Score} = 100 \times (\text{melatonin}[3:30] - \text{melatonin}[2:00]) / \text{melatonin}[2:00]$$

$$\text{Control-Adjusted Percent Change Melatonin} =$$

$$\frac{\text{Percent Change Melatonin}(460\text{nm光条件}) - \text{Percent Change Melatonin}(\text{コントロール条件})}{\text{Percent Change Melatonin}(\text{コントロール条件})}$$

【結果と考察】

各条件下における血中メラトニン濃度の絶対量の変化を図2に示す。暗順応条件ではその後の460nm光曝露によりメラトニンは顕著に抑制されるのに対し、弱光への順応後では実験1において顕著な抑制が確認されなかった。

次に、血中メラトニン濃度の変化率を図3に示す。暗順応後に対して、弱光順応後ではメラトニン抑制量が有意に低下した。また、コントロール条件を考慮したメラトニン濃度の変化率（図4）でも同様に有意な傾向が確認され、約18lxの弱光順応により、暗順応時と比較して実験1で44%、実験2で46%、メラトニン分泌抑制率が低下することが確認された。

本結果から、ヒトにおいても光への順応状態がメラトニン分泌抑制に影響を及ぼし、弱光への順応がその後のメラトニン分泌抑制を低下させることが明らかとなった。

錐体・桿体が概日時計システムと何らかの関わりを持っていることを示唆する報告は過去にも散見され、今回の結果もその可能性を示唆するものであるが、その生理的メカニズムはいまだ不明である。

Dim light adaptation attenuates acute melatonin suppression in humans.

Jasser, S.A., Hanifin, J.P., Rollag, M.D., Brainard, G.C.

J Biol Rhythms. 21(5), pp.394-404 (2006)

図1. 実験のタイムテーブル

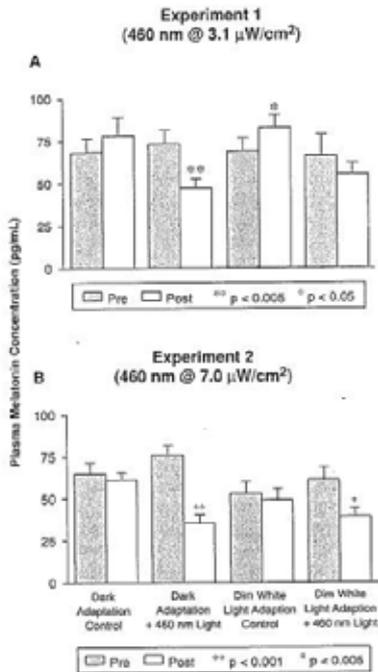
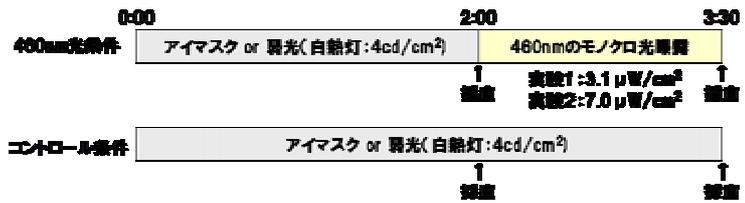
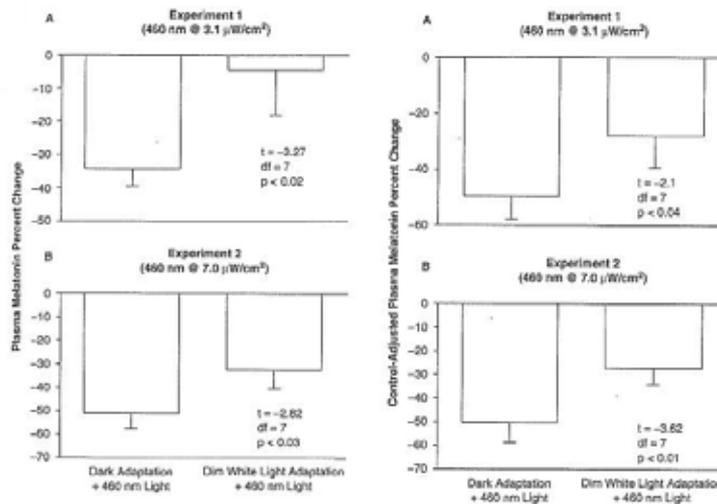


図2. 血中メラトニン濃度の絶対量の変化

暗順応コントロール条件では、前後の計測で高いメラトニン濃度が維持されているが、460nm 光曝露により顕著に抑制される。弱光順応コントロール条件でも、前後の計測で高いレベルを維持しており、このレベルの曝露ではメラトニン分泌抑制が生じないことを示している。また、その後の460nm 光曝露において、実験1では顕著な抑制は確認できなかった。



(左) 図3. 血中メラトニン濃度変化率(式により算出)

A. 実験1におけるメラトニン濃度変化率 B. 実験2におけるメラトニン濃度変化率

(右) 図4. コントロールを考慮した血中メラトニン濃度変化率(式により算出)

A. 実験1におけるメラトニン濃度変化率 B. 実験2におけるメラトニン濃度変化率

実験1, 2それぞれにおいて、弱光順応により44%, 46%の抑制低減を確認。

(野口 公喜)

ヒトのメラトニン分泌リズムの短波長光に対する感度

【目的】

本研究の目的は

1. 光暴露による概日位相シフトが波長依存特性をもつことを示す
2. 概日位相シフトのアクションスペクトルが、明所視のアクションスペクトルよりも短波長側にずれていることを示す

以上二点である。

【実験方法】

〔被験者〕

被験者 16 名 (うち男 8 名、平均年齢 ± 標準偏差 = 23.3 ± 2.4, 19 ~ 27 歳.)

事前に身体、精神、視覚検査を実施し正常者のみで構成。

〔呈示条件、刺激〕

条件 1

16 名のうちランダムに選抜した 8 名が参加。呈示刺激の波長は 460nm (半値幅 10nm)。

条件 2

条件 1 で選抜されなかった 8 名が参加。呈示刺激の波長は 555nm (半値幅 10nm)。

〔実験装置〕

図 1 に示すとおりである。

〔サンプル採取〕

血液を採取し、専門機関による血中メラトニン濃度の分析を行った。血液の採取が不完全となった 3 被験者については、唾液サンプルにより代替した。

〔実験スケジュール〕

実験スケジュールは全 9 日間で実施された。実験は光照射を行う前と後の期間をそれぞれ CR1, CR2 (CR: コンスタントルーティン) とし (図 2 参照), CR 期間中、被験者は概

日位相シフトに関係するあらゆる情報から隔離されて過ごした。被験者は CR1 終了後、座位にて 1.25 時間過ごしたあと、瞳孔拡張剤を点眼し、0.25 時間ブラックアウトゴーグルを着用した。その後光照射を開始し、6.5 時間経過後に照射を終了した。被験者は光照射の間、ドーム内の凝視点を凝視 (90 分間)、凝視フリー (10 分間) を交互に繰り返した。これら一連の実験スケジュールは被験者各々の普段の起床時刻を基準として決定された。光照射は被験者の起床時刻の 9.25 時間前から開始した。

〔位相シフト量〕

本研究では、位相シフト量を CR1 における DLM025%時刻と CR2 における同時刻との差分で与えた。

【結果と考察】

図 3 は 2 条件各々における位相シフト量を表している。460nm 光照射は 555nm に比べて優位な位相シフト反応を起こした ($p < 0.0006$)。また、10000lx 白色光 6.7 時間暴露の場合 (別論文掲載) と比較して条件 1 の 460nm 光の位相シフト量には大きな差がなかった。

図 4 は被験者毎のメラトニン分泌量の推移を示している。460nm 光照射は 555nm に比べて優位にメラトニン抑制を起こした。 ($p = 0.0021$)

High Sensitivity of the Human Circadian Melatonin Rhythm to Resetting by Short Wavelength Light.

Lockley, S., Brainard, G.C., Czeisler, C.A.
J Clin Endocrinol Metab., 88(9), pp.4502-5 (2003)

図 1. 実験装置概略図

- 01) 1200W キセノンアークランプ+反射鏡
- 02) 単色光分光器 (半値幅 10 ~ 14.5nm)
- 03) 瞳孔径観察用カメラ
- 04) 凝視ターゲット(ドーム中心点)
- 05) ドーム内白色塗料塗布(可視光 95 ~ 99%反射)
- 06) 光強度測定位置

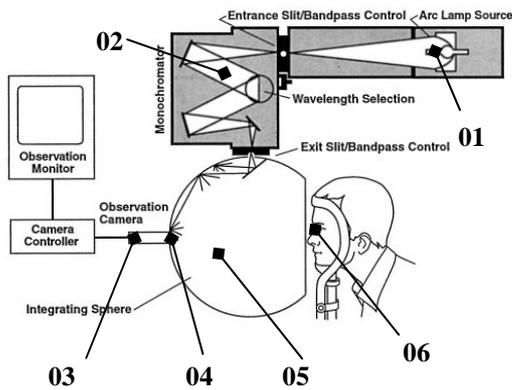


図 3. 実験結果

各々の条件で互いに等しい光量(photons/cm²/s)としてある。●は血液によるデータ点、○は唾液による。誤差棒付きの●は被験者 8 名の平均値。縦軸は位相シフト量を表す(単位: 時間)。上側破線は概日周期による平均的なずれを、下側破線は、6.7 時間 10000lx 白色光暴露したときの位相シフト量を示す(瞳孔拡散剤不使用, 別論文より)。

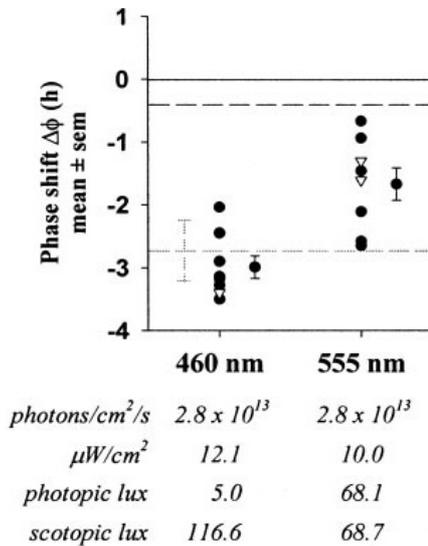


図 2. 実験スケジュール

CR 期間中は 30 分間隔, 光照射中は 20 分間隔で血液採取(実験 2 日目より開始, 唾液サンプルは 1 時間毎に採取)

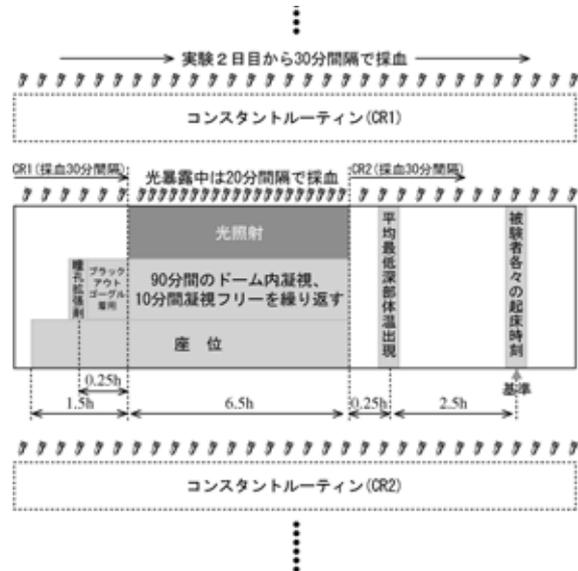
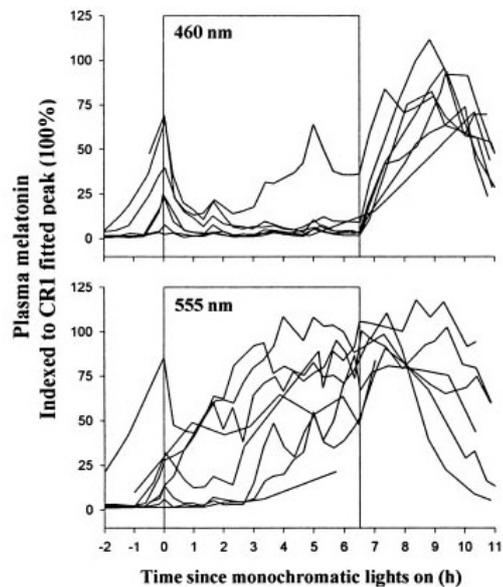


図 4. 実験結果

被験者毎のメラトニン分泌量推移。横軸の単位は時間(照射開始の 2 時間前 ~ 照射終了から 4.5 時間後)。縦軸は CR1 における被験者各々のメラトニン分泌量最大値を 100 として正規化したそれぞれの時間におけるメラトニン分泌量を示す。方形枠内は光照射時間中であることを示す。



(森下 大輔)

老人ホームの認知症入居者における概日リズムと、睡眠に対する光治療の効果

【目的】

老人ホーム入居者に光治療（光暴露）を行い、睡眠障害、概日リズムの改善効果があるかを明らかにする。

【実験方法】

次の4つの光暴露条件での経時的活動量を Actillum レコーダ (Ambulatory Monitoring Inc.)で計測し、計測データから活動リズムを解析する。午後(5:30pm-7:30pm)に2,500ルクスの光に暴露、午前(9:30am-11:30am)に2,500ルクスの光に暴露、光暴露なし(5:30pm-7:30pmに50ルクス未満の赤ランプの光に暴露)、昼間の居眠り防止DSR(9am-0pm, 2pm-5pmの6時間にスタッフが同伴し居眠りさせない。)

被験者は、San Diegoの2つの老人ホーム入居者72人(60-100才、平均年齢85.7才 SD7.3才)。Geriatric Depression Scaleにより鬱病でないこと、MMSEにより中程度の痴呆であることを確認。

データ解析には、5パラメータ拡張コサイナー分析(注1)を用い、治療前3日間、光治療中10日間、治療後5日間の活動リズムの振幅(amp)、リズム補正平均値(mesor)、頂点位相(φ)を算出した、変化を解析(図1)。

【結果と考察】

午前の光暴露条件では、活動リズムの頂点位相は平均1時間46分後退し(p=0.022, 図2)、mesorは治療2週目で有意に増加した(p=.027)。また、このグループのすべての被験者は、活動リズムの頂点位相が後退した(図3)。さらに、午前の光暴露は、リズム補正平均値(mesor)を有意に増加させ

ることも確認された。活動リズムの振幅には有意な変化はなかった。

午後の光暴露グループでは、活動リズムは後退したが、統計的に有意ではなかった。活動リズムの平均値と振幅には有意な変化はなかった。

その他の実験条件で、活動リズムの頂点位相、平均値、振幅には有意な変化はなかった。

いくつかの若年者を被験者とした研究で、朝の光暴露は概日リズムを前進させるとの結果が報告されている。本研究では午前の光暴露が有意に活動リズムを前進させたが、これは高齢者のDim Light Melatonin Onset (DLMO)時刻が若年者より前進していることに起因すると考えられる。健康成人のDLMOはおよそ9:00pm頃で、高齢者DLMOはおよそ5:30pmとの報告があり、高齢者のDLMOが前進しているため、午前(PM9:30-11:30)の光暴露でも活動リズムを後退させたのではないかと考えられる。

(注1)「5パラメータ拡張コサイナー分析」下式を用いて、リズムの律動性を解析する。下式と計測結果がフィットする、 k 、 \min 、 amp を最小二乗法を用いて算出。

$$y(t) = \min + \text{amp} \{ r(t) / [k + r(t)] \}$$

$$r(t) = [\cos\{2\pi/24(t - \phi)\} + 1] / 2$$

Martin J, et al. Chronobiol Int 17, 405-418 (2000)

Effect of Light Treatment on Sleep and Circadian Rhythms in Demented Nursing Home Patients.

Ancoli-Israel, S., Martin, J.L., Kripke, D.F., Marler, M., Klauber, M.R.
J Am Geriatr Soc, 50, pp.282-289 (2002)

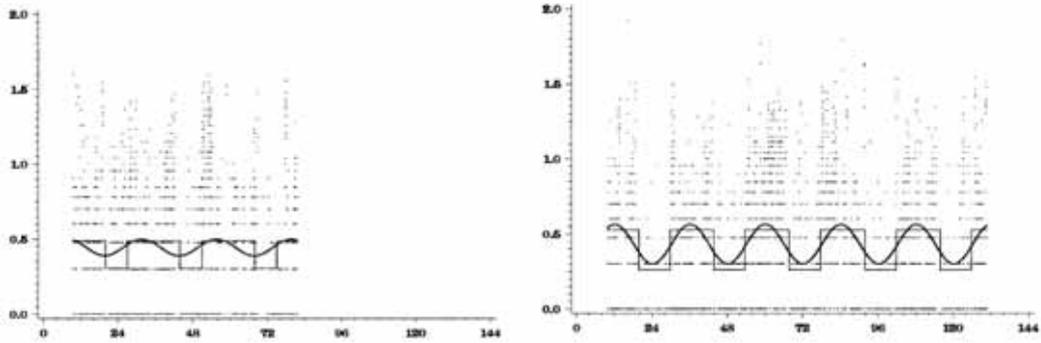


図1. 一人の被験者の活動量の計測データ(点)とモデルフィット
 治療前(左), 治療中(右)の活動量データ. 拡張コサイナーモデルは矩形カーブとしてプロットされる. 右グラフでは周期性が明確で, 活動量の律動性が改善していることが分かる.

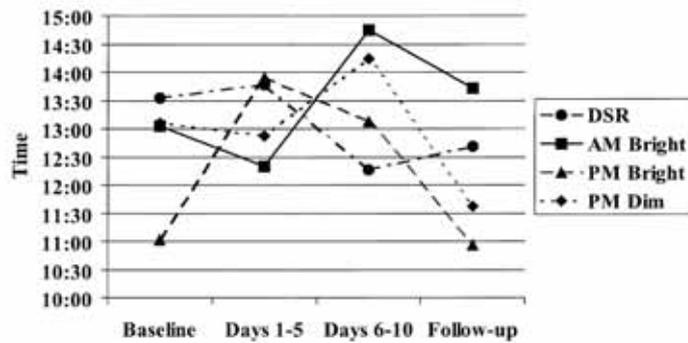


図2. 光暴露に対する頂点位相の変化

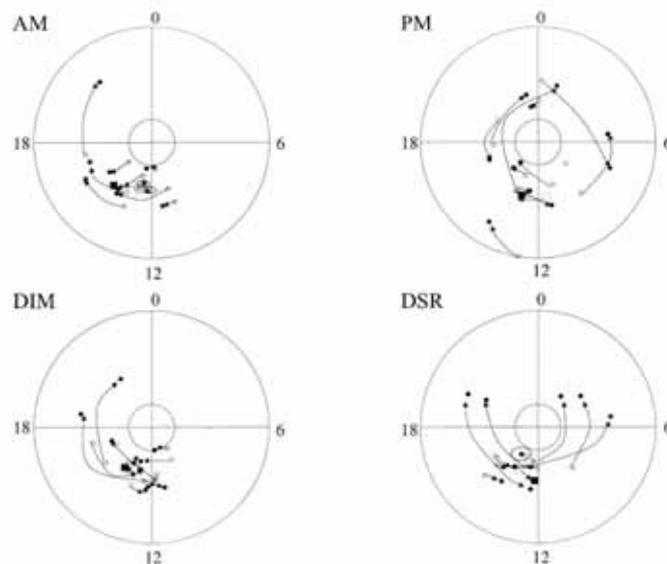


図3. 4つの実験条件群の治療後の頂点位相シフトの円形プロット
 AM 光暴露条件では, 治療前(開円)から治療後(閉円)への矢印は, すべて時計回り示す(頂点位相の後退).

(鈴木 敬明)

ニューヨーク州ロングアイランドにおける交替勤務・夜間の光環境と乳癌

【目的】

- ・ 居住地の電磁環境と乳癌発症の関係を評価する
- ・ 乳癌と夜間の光曝露(交替勤務による光曝露と住宅における光曝露)に関する仮説を検証する

【実験方法】

調査対象: ロングアイランドに 15 年以上居住している 15~75 歳の女性

サンプルの選択方法:

乳癌患者- LIBCSP(ロングアイランド乳癌研究プロジェクト)参加者(1996/8~1997/6に診断)663名を対象に勧誘 576名(87%)

一般- 65歳未満は電話で無作為抽出, 65歳以上は HCFA(健康保険金融機関)名簿から計 702名を対象に勧誘 585名(83%)

調査項目:

-1 インタビュー:

乳癌患者- 自宅にて 1508 項目の質問, 血液・尿検査, 計 239 日間

一般- 自宅にて 1556 項目の質問, 血液・尿検査, 計 202 日間

-2 住環境調査: 電磁波環境として, 自宅周辺の電線を調査

-3 職種・形態: (1)職名(2)勤務場所(3)直近 15 年間の就職~退職履歴(4)頻度(5)継続期間(6)交替勤務(午後交替: 午後~午前 2 時, 夜間交替: 19:00~翌朝)

-4 夜間の光曝露: 直近 5 年間の夜間の光曝露履歴, 睡眠時間, 夜間点灯時間

サンプルの分類: 統計解析のサンプル数は表 1 の通り

表 1 調査対象

	人数(母集団に対する%)	統計解析の対象(人数に対する%)
乳癌	576(87%)	487(85%)
一般	585(83%)	509(87%)

-1 交替勤務: 過去 15 年間の経歴で以下の 1)~5)に分類

- 1) 交替勤務経験あり(参照グループ)
- 2) 午後交替の勤務経験あり
- 3) 午後交替勤務のみ
- 4) 夜間交替の勤務経験あり
- 5) 夜間交替勤務のみ

このうち, 2)&3), 4)&5)は, それぞれ 3 段階に分類(1 回/週末未満, 1 回/週以上平均未満, 平均以上)

-2 夜間光曝露: 夜間睡眠中の点灯頻度で以下の 1)~5)に分類

- 1) 1 回/月末満
- 2) 1~3 回/月
- 3) 1 回/週
- 4) 2~4 回/週
- 5) 5 回/週以上

} 参照グループ

統計解析の方法:

月経の有無, 子宮・卵巣の外科的手術の有無, 喫煙状態等で分類し, 各分類と乳癌との相関について, SAS の最尤法を使って, 無制限多重ロジスティック回帰分析で odds 比(1.0 で有意差あり)と 95%信頼区間を求めた

【結果と考察】

交替勤務経歴

- ・ 交替勤務の経験あり: 36.3%
- ・ 午後交替勤務の経験あり: 33.5%, 午後

- 交替勤務の経験ない人より若い,閉経前,
ユダヤ系の傾向あり
- 夜間交替勤務の経験あり: 7.6%, 交替勤務の経験ない人より若い,避妊,閉経前,プロテスタントの傾向あり,乳房X線写真の経験なし,ユダヤ系はなし
 - 交替勤務と乳癌発症リスクに相関なし
 - 閉経前と閉経後の女性間で乳癌発症に有意差なし
- 夜間光曝露と乳癌の相関
- 1回/週,あるいは一晩に1回点灯する程度: 乳癌の発症リスクに有意差なし
 - 夜間に大量の光を浴びる場合(1週間に2回以上,あるいは一晩に2回以上): 乳癌の発症リスクが有意に高い(夜間曝露光量が多いのは,閉経後,高度な教育をあまり受けていない傾向あり)
 - 65歳未満の女性: 月経の有無による乳癌発症リスクの違いはほとんどなし
 - 平日ピーク時に睡眠をとっていない(20:00~1:00に起きている,あるいは2:00~8:00の間に就寝する)場合: 乳癌発症に有意な影響なし

Shift Work, Light at Night, and Breast Cancer on Long Island, New York
 O'Leary, E.S., Schoenfeld, E.R., Stevens, R.G., Kabat, G.C., Henderson, K., Grimson, R., Gammon, M.D., Leske, M.C.
 Am J Epidemiol., 164(4), pp.358-36 (2006)

他の先行研究との結果比較

	調査件数	対象年齢	交替勤務	夜間光曝露	ピーク時の睡眠	備考
Hansen (Denmark)	乳癌, 一般とも7,000ずつ	30-54	病院勤務, 看護師 発癌リスク高い	-	-	
Davis (Seattle)	-	-	10年間の職歴調査(3割夜間交替) 交替勤務歴長いほどリスク高い	10年間の住宅における点灯状況調査 有意差なし	有意差あり(毎日の就寝, 起床を調査)	
Nurses Health Study	-	-	30年以上交替勤務をしている人 リスク高い	-	-	
Nurses Health Study II	-	-	20年以上交替勤務をしている人 リスク高い	-	-	
Stevens (Long Island)	乳癌 576 一般 585	15-75	15年間の職歴調査(8割夜勤交替) 有意差なし	15年間の住宅における点灯状況調査 有意差なし	有意差なし(通常の就寝, 起床を調査)	15年以上居住を対象

(望月 悦子)

短波長光に対するメラトニン，覚醒，体温調節，心拍の高感性

【目的】

サーカディアンシステムに関係する生理・心理反応は目から入る光に感度を持つ。中でもメラトニン分泌や体温調節は，短い波長域の光（以下，短波長光）に感度が高いと既往研究で報告されている。本論文では，既往研究で報告されているメラトニン分泌，体温調節の結果を確かめるとともに，主観的な覚醒度，心拍についても短波長光に対する高感性を調査する。

【実験方法】

被験者

10名（平均 25.9 才 ± 標準偏差 3.5 才）

実験スケジュール

18:00～翌日の 10:00 までの実験を 1 セッションとし，各被験者 3 セッションの実験を行う（図 1 参照）。各セッションでは，異なる光（表 1 参照）を曝露する。

表 1 曝露する光の条件

単色光は半値全幅 20nm

光条件	放射照度 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	光子密度 $\text{photons}/\text{cm}^2/\text{sec}$
なし (0lx)	0	0
ピーク波長 460nm の単色光	12.10	2.8×10^{13}
ピーク波長 550nm の単色光	10.05	

計測する生理・心理反応

唾液中メラトニン，主観的な眠気，直腸温，心拍数は 30 分毎に計測，は実験を通して連続計測。

【結果・まとめ】（図 2 参照）

唾液中メラトニン

光曝露により全体的に抑制する傾向を示した。特に 460nm は，光曝露 30 分後から光曝

露終了まで 550nm に比べ，大きく抑制する傾向が見られた。統計的には光曝露 60 分後，90 分後で有意差が見られた。

主観的な眠気

550nm は光曝露による変化が見られなかった。一方，460nm は，光曝露 30 分後から光曝露終了 30 分後まで 550nm に比べ，大きく低下する傾向が見られた。統計的には光曝露 30 分後，60 分後で有意差が見られた。

直腸温

光曝露に関係なく徐々に低下する 550nm に対し，460nm は光曝露 30 分後から 80 分後まで光曝露前の状態を保持し，その後徐々に低下する傾向を示した。統計的には光曝露 60 分後から光曝露終了後 95 分間ずっと有意差が見られた。

心拍数

光曝露に関係なく徐々に低下する 550nm に対し，460nm は 550nm に比べ光曝露 30 分後から光曝露終了後 30 分まで緩やかな勾配で低下する傾向を示した。統計的には光曝露 80 分後，100 分後，光曝露終了 20 分後で有意差が見られた。

本論文から，メラトニン分泌，体温調節だけでなく主観的な覚醒度，心拍も短波長光に感度が高いことがわかった。

High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light.

Cajochen, C., Munch, M., Kobialka, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., Orgul, S., Wirz-Justice, A.
J Clin Endocrinol Metab., 90(3), pp.1311-6. (2005)

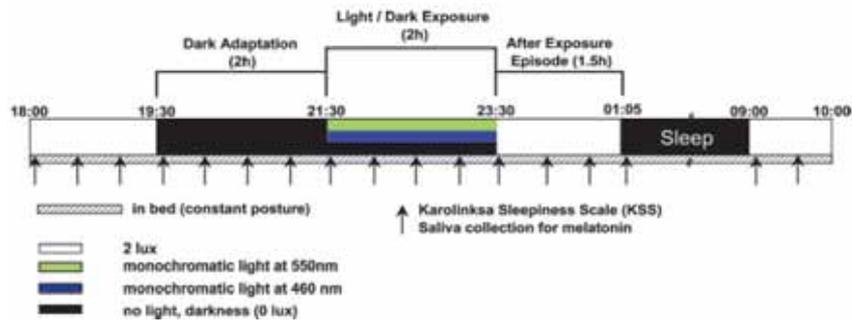


図 1.1 セッションのスケジュール

1セッションは16時間. 表1の条件の光を曝露する時間は, 21:30~23:30の2時間(0lx条件の場合は光を曝露されず暗所下状態となる). 図中の2luxは白色照明下2lxという意味である.

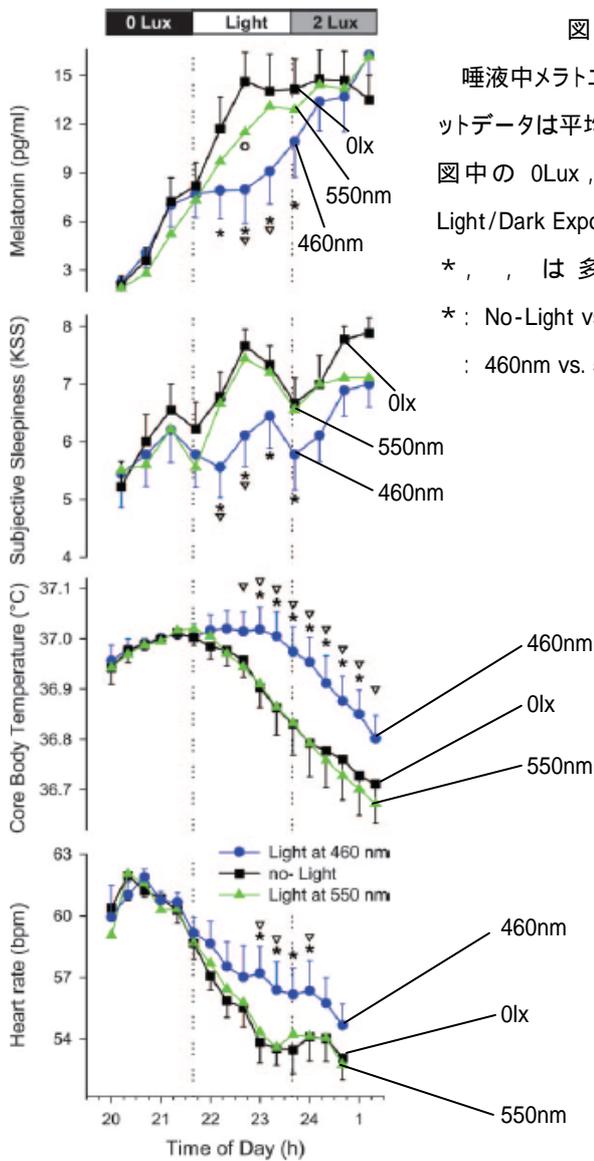


図 2. 計測した生理・心理反応の変化

唾液中メラトニン, 主観的な眠気, 直腸温, 心拍 プロットデータは平均値, 誤差棒は標準誤差

図中の 0Lux, Light, 2Lux は, 図 1 の Dark Adaptation, Light/Dark Exposure, After Exposure Episode に対応.

*, **, は 多重比較の結果 ($P < 0.05$) を表す.

*: No-Light vs. 460nm, **: No-Light vs. 550nm, *: 460nm vs. 550nm

(東洋邦)

4 . 国際会議調査

当委員会の会期中に開催され、委員が参加した関連分野の国際会議調査結果について以下に報告する。

4 - 1 . 2nd CIE Expert Symposium on “Light and Health”

4 - 1 - 1 . 会議情報

開催日：2006年9月7日～8日

場所：オタワ（カナダ）

主催組織：国際照明委員会（第3部会，第6部会）

参加人数：160名程度

4 - 1 - 2 . 報告概要

(1) Circadian Rhythms and Other Brain Functions (サーカディアンリズムとその他の脳機能)

【発表者】 Lockley, S.

【概要】 全盲者におけるサーカディアンエフェクトの存在から、その作用が視覚と別の神経経路を介していることが示された。波長の作用に関して、6.5時間の光曝露による青色・緑色 LED の比較が行われ、青色光でサーカディアンリズム位相への作用が大きいだけでなく、深夜における眠気の抑制や反応時間パフォーマンスの維持、脳波により評価した覚醒度の維持などが示された。また、今後のキークエッションとして、「このアクションスペクトルがどの範囲の生理作用まで適用できるのか?」、「作用強度をどのような指標（単位）で表現するか?」、などが挙げられた。アプリケーションとしては、疲労の対策、オフィスや学校での健康増進・パフォーマンス向上、シフトワークへの活用などが提案された。

(2) Implications for White Light Sources of Different Colour Temperatures (異なる色温度の白色光源におけるサーカディアンエフェクト)

【発表者】 Rea, M.

【概要】 ポリクロマティック光の作用として、演者らは反対色理論を用いたアクションスペクトルモデルを提案しており、今回はそのモデルの検証に関する実験報告がなされた。結果はその仮説を支持するものであり、したがって、色温度だけではサーカディアンエフェクトの強度を説明できないことが示唆された。

(3) Ultraviolet Benefits and Risks - The Evolving Debate (紫外線の有益性とリスク)

【発表者】 Webb, A.

【概要】 最初に，現代までに紫外線が注目された要因として，クル病，ビタミン D，皮膚ガンへの作用に関する紹介から始まり，ビタミン D の重要性和紫外線の受光および食物からの摂取（サプリメント）について解説がなされた．最後に，ベネフィットを最大にして如何にリスクを抑えるかが課題となることが強調された．

(4) Effects of Dim and Bright Work Environments on Circadian Function（職場の光環境とサーカディアン機能）

【発表者】 Dumont, M.

【概要】 内勤と外勤の作用について夏季・冬季での実験を行ったところ，冬季のみにおいて受光量とメラトニン抑制量に関して負の相関が見られ，内勤者で夜間のメラトニン抑制が大きくなることが示された．また，30 人の夜勤者のサーカディアンリズム位相を調査したところ，位相が顕著に後退する人が数名存在し，そのような人は，日中により暗い部屋で寝て，勤務前の夕方により明るい環境で過ごすという，夜勤への適応（サーカディアンリズム位相の後退）に効果的な光環境となっていたことが示された．

(5) Light at Night - Cancer Risks of Shift Work（交代勤務と発癌リスク）

【発表者】 Blask, D.

【概要】 夜勤者において乳癌の発症リスクが高くなるという疫学調査結果の紹介から始まり，マウスを対象とした 2 つの実験結果が紹介された．ヒトの乳癌細胞を移植したマウスにおいて，暗期を明るくすると癌細胞の成長が促進されること，メラトニン濃度の異なるヒトの血液も合わせて移植すると，メラトニン濃度の減少とともに癌細胞が活発となることが示された．

(6) Shift Work and Jet-Lag Adaptation（交代勤務と時差ボケへの対処）

【発表者】 Eastman, C.

【概要】 東回りの海外旅行を想定した場合，数日前から 3 mg のメラトニン摂取（就寝 5 時間前）と LightBox による受光（起床後）を併用することで，毎日 1 時間の位相前進が可能であることが示唆された．また，色温度 17000K のフィリップス社製新蛍光ランプとそれを搭載した LightBox の試作品も紹介された．さらに，シフトワーク（夜勤）への適応に関しても同様に，LightBox（勤務中）とメラトニン摂取，サングラス装着（勤務後）によって，位相の後退を効果的に促すことができることが示唆された．

(7) Beyond Blue Light: Can the Non-visual Effects of Light be Optimized by

Dynamically Manipulating Wavelengths of Light? (波長制御により非視覚的作用の最適化は可能か?)

【発表者】 Cooper, H., Gronfier, C.

【概要】 単に青色光を曝露するのではなく、一度赤色光を曝露した後に青色光を曝露することで位相への作用を増大できるという非常に興味深い報告がなされた。

(8) The Potential for Treating Sleep Disorders (睡眠障害治療の可能性)

【発表者】 Skene, D.

【概要】 生体リズム障害 (DSPS, ASPS など) を引き起こす要因として環境、遺伝、生理特性が挙げられ、それらは短期的には疲労やパフォーマンス低下、長期的にはガンの発症につながることを示唆された。アプリケーションに関しては、シフトワーク (夜勤) への応用について言及し、夜勤時にサーカディアンリズム位相が後退し、6~8日間で昼夜のリズムが完全に逆転すること、勤務後の休暇にサーカディアンリズム位相を元に戻す際に、光刺激装置を使用することで復帰を促進する方法が提案された。また、サーカディアンリズムへの作用のみならず、覚醒作用に関しても短波長光が効果的であることも示された。

(9) Lighting for Alzheimer's Disease Patient Care (アルツハイマー症高齢者介護のための照明)

【発表者】 Figueiro, M.

【概要】 米国におけるアルツハイマー患者の増加や介護負担などの問題に続いて、青色 LED を用いた実験が紹介され、睡眠効率の改善に効果的であることが示唆された。また、高齢者介護施設における昼夜の照明の推奨案として、昼は 1000 lx で 2 時間以上の光照射を行い、夜間は 100 lx 以下で短波長成分をできる限り減らすことが提案された。

(10) Applying Light and Health Research for the Elderly (高齢者への応用)

【発表者】 Miller, N.

【概要】 高齢者施設においては、屋内はうまく自然光を取り込む、もしくは照明により明るさを確保し、庭などの屋外へのアクセスを促進する設計が重要であることが示唆された。ただし、グレアや昼光利用による熱、省エネには十分な配慮が必要であることも付け加えられた。また、青色光の利用に関しては、心理的作用の考慮も重要であり、サーカディアンエフェクトの強さだけでは採用できないとの意見が述べられた。

(11) Lighting in Nursing Homes (高齢者施設の光環境)

【発表者】 Noell-Waggoner, E.

【概要】 米国政府は光の重要性を全く認識していないことから、州によって光環

境に対する意識に差があり，規制がなければ極端に暗い環境となってしまうことが報告された．高齢者施設におけるそのような低照度空間は，事故，骨折，ビタミンD不足，睡眠障害へとつながることから，「Quality of Light = Quality of Life」という考え方を示した．また，夜勤時を中心として介護負担の増大が問題であることも付け加えられた．

(12) Light Treatment of Seasonal Affective Disorder (季節性感情障害への光療法)

【発表者】 Levitt, A.

【概要】 季節性感情障害 (SAD) に関して光療法が効果的であることが示され，バイザー型や LED 装置などが紹介された．光療法のプロトコルとしては 10000 lx で 30 分の照射が実用的であるとし，カナダではそれがガイドラインとなっているとのこと．また，副作用に関しては，頭痛などが挙げられるが，「目の障害」に関しては確たる証拠が無いとのことであった．

(13) Blue Light Risk & Light Therapy (青色光によるリスクと光療法)

【発表者】 Sliney, D.

【概要】 (おそらく米国) 全ての光療法装置の測光を行ったところ，屋外での自然光による網膜上への光放射量を下回っていたということから，その安全性が示唆された．また，サーカディアンエフェクトに関連する研究では，角膜照度 (顔面部での鉛直面照度) が採用されているが，それだけだと配光が変われば網膜への放射量は大きく変わることから問題であるとの指摘がなされた．最後に，注意事項として，グレアだと感じたら光源を見つめないこと，青色光は十分に拡散させることが付け加えられた．

(野口 公喜)

4 - 2 . The 26th CIE Session

4 - 2 - 1 . 会議情報

開催日：2007年7月4日～11日

場所：北京国際会議センター (中国，北京市)

主催組織：国際照明委員会

参加国 (参加人数)：43カ国 (801名) (参加者名簿より集計)

4 - 2 - 2 . 報告概要

国際照明委員会 CIE は、全部で 7 つの部会から構成されているが、本研究調査委員会に強く関わる内容を取り扱っているのは、第 6 部会『光生物学と光化学』である。第 6 部会に関連する発表としては、口頭発表 7(6)件、ポスター発表 16(12)件、ワークショップ 3(3)件、計 26 件(21 件)の論文投稿があった(括弧内の数値は、フルペーパーの投稿があった件数)。ここでは、フルペーパーが投稿された 21 件のうち、特に本研究調査委員会と関連の深い 10 件の内容を紹介する。以下(1)~(7)は、概日リズムに関する研究発表、(8)~(10)は紫外線・昼光による生理影響に関する研究発表である。

- (1) Light and Health: Photoreception for Biological, Behavioral and Therapeutic Responses in Humans (光と健康：光受容に対する人間の生物学上、行動学上、療法上の反応)

【発表者】 George C. Brainard

【概要】 光は概日リズムの乱れの治療などに用いられているが、夜間に不適切に光を浴びると癌のリスク要因になるということにも注意する必要がある。メラトニン制御に対する光刺激を伝達する主要な受容器は 3 つの錐体細胞ではないこと、メラトニン抑制には 446~477 nm の波長が最も効果的であること、概日リズムの調整に対する感度は、視覚の感度よりも短波長側にずれており、青色の狭い波長幅の光が特に概日リズムの乱れの治療には有効であることが近年の研究結果から示されている。

- (2) Benefits of Photobiological Light Exposure During Rapidly Rotating Night-Shift Work (夜間勤務の短期間交替における生物学的光曝露の効果)

【発表者】 Martine Knoop and Ellie de Groot

【概要】 ローテーションが短期間の交代勤務者 23 名を対象に、メラトニン生成量測定、欠勤率調査、眠気に関するアンケート調査を実施している。青色光を含まない光を照射することによって、体内時計を狂わすことなく(勤務時間外の日常生活に支障を与えることなく)、交代勤務時間中の注意力を保つことができることが示された。

- (3) Lighting and Sleep: A Way of Lighting to Maintain Healthy Sleep Habits (照明と睡眠：健康的な睡眠習慣を維持する照明方法)

【発表者】 Hiroki Noguchi, Naohiro Toda, Toshihiko Sakaguchi, Tomoaki Kozaki, Shota Koga and Akira Yasukouchi

【概要】 日本の住宅照明で一般的に使われている高色温度(5000K 以上)の照明は、睡眠の障害になりうること、入眠前の照明は低色温度(白熱電球あるいは色温度 3000K の蛍光灯)、低照度にすることが妥当であることが実験で示された。

- (4) Circadian Light Doses Received During Typical Daily Activities (典型的な日中の活動において一日に受容する光量)
- 【発表者】 Dumortier Dominique, Nollet Hugues, Cooper Howard and Gronfier Claude
- 【概要】 日常生活の行動パターンを7つに分類し、各行動パターンで曝露される分光放射を測定、メラトニン分泌の作用曲線で重み付けし、概日照度を算出した結果、屋外で太陽光を浴びることが健康上最も重要であることが述べられている。
- (5) Field Measurement on the Amount of Outdoor Exposed Light in Nighttime in Japan (日本における夜間の光曝露量の実測調査)
- 【発表者】 Etsuko Mochizuki, Toshie Iwata, Daisuke Itoh and Shin-ichi Tanabe
- 【概要】 夜間屋外で歩行者が曝される光環境の実態を把握することを目的とし、オフィス街、繁華街、住宅街各3箇所にて、目の位置の鉛直面照度、相関色温度を1秒間隔で測定、また代表点にて歩行者の視野内の輝度分布をCCDカメラ輝度測定システムにより測定している。照度と相関色温度より算出されるメラトニン分泌抑制率を求めた結果、繁華街ではオフィス街の20倍以上のメラトニン分泌抑制率になる場所もあることがわかった。
- (6) Photometrical Situation and Eye Movements at VDU Work Stations (VDU 作業場における光環境と視線の動き)
- 【発表者】 Sylvia Hubalek and Christoph Schierz
- 【概要】 眼鏡に2つのセンサーを取り付け、視覚系(センサー感度が分光視感効率)および非視覚系(センサー感度がメラトニン分泌の作用曲線)に関与する光を同時に測定できる測定器を開発、日常生活における曝露光測定と睡眠に関するアンケート調査を実施している。
- (7) The Background Luminance and Colour Temperatures Influence on Alertness and Mental Health (周辺輝度と色温度が覚醒・精神的健康に与える影響)
- 【発表者】 Tommy Govén, Thorbjörn Laike, B. Pendse and K. Sjöberg
- 【概要】 蛍光灯が人間のホルモン分泌と覚醒に与える影響を明らかにすることを目的とし、オフィスを模した実験室にて周辺輝度、光源の色温度の組み合わせを変え、コルチゾール、メラトニン分泌を測定、視覚的不快感の主観評価を行っている。結果、輝度が高いほど覚醒度は上昇するが、精神的ストレスも大きいことが示された。
- (8) Exploring the Risks and Benefits of Solar UV Exposure (太陽光紫外線曝露によるリスクと利益に関する調査)
- 【発表者】 Ann R. Webb

【概要】 UV-B の相対的割合が高い正午近辺に、皮膚の曝露面積を大きくし、短時間に太陽光を浴びることで、ビタミン D の合成という利点に対し、紅斑のリスクが相対的に低くできることが提言された。

- (9) The Oxidative Mechanism of Cataract Induced by UV Irradiation and its Inhabitation by Natural Products (紫外線放射による水晶体混濁部の酸化メカニズムと天然物による抑制)

【発表者】 Yang Minga, Wang Wenb and Xiao Sulonga

【概要】 紫外線照射による水晶体の酸化ダメージのメカニズムを明らかにすることを目的として、ラットの水晶体を用い、紫外線照射時間と蛋白質の増減を測定、紫外線照射時間が長いほど水晶体が混濁することが示された。また、硫黄中心のフリーラジカル抗酸化剤によって、ビタミン C よりも効果的に水溶性蛋白質を抑制できることを確認している。

- (10) New Methodic for Medical Test of Lighting Conditions. Morphological Analysis of Biological Fluids (照明環境の医学的評価のための新しい方法論 -分泌液の形態学的分析)

【発表者】 E. Oseledets and Y. Popovskiy

【概要】 照明条件が人間の生理に与える影響をV字型脱水法と名づけられた新しい手法に基づき評価している。血液サンプルを4時間、暗闇、人工照明、自然光の3条件下に曝露した結果、自然光下では生物学的に健康な活性組織の特徴である結晶構造が形成された。暗黒条件下では、結晶構造の形成は見られなかった。昼光照明環境下と完全暗室下に各3名の被験者を曝露した結果、昼光照明環境下では血清の結晶構造が作られる傾向が顕著に見られた。

- (7) The Background Luminance and Colour Temperatures Influence on Alertness and Mental Health (周辺輝度と色温度が覚醒・精神的健康に与える影響)

【発表者】 Tommy Govén, Thorbjörn Laike, B. Pendse and K. Sjöberg

【概要】 蛍光灯が人間のホルモン分泌と覚醒に与える影響を明らかにすることを目的とし、オフィスを模した実験室にて周辺輝度、光源の色温度の組み合わせを変え、コルチゾール、メラトニン分泌を測定、視覚的不快感の主観評価を行っている。結果、輝度が高いほど覚醒度は上昇するが、精神的ストレスも大きいことが示された。

(望月 悦子)

4 - 3 . SOLG Symposium “ Light, Performance and Quality of Life ”

4 - 3 - 1 . 会議情報

開催日：2007 年 11 月 8 日

場所：アイントホーフェン（オランダ）

主催組織：SOLG（The Light & Health Research Foundation）

参加国（参加人数）：筆者とアメリカ人 1 名を除き，すべてヨーロッパ圏からの参加（約 90 名）

4 - 3 - 2 . 報告概要

- (1) Health and Well-Being: Effects of High Color Temperature Lighting（高色温度照明の健康への作用）

【発表者】 L. Schlanen

【概要】 Philips 社製 17000K の蛍光ランプに関するフィールド調査報告．配送センターやオフィスにおける評価を実施した結果，日中における眠気の抑制や（主観的）パフォーマンスの向上，夜間における睡眠感の向上が確認されたことが報告された．

- (2) Circadian Effectiveness of Solar and Artificial Radiation in Dependence on Age（光のサーカディアン作用と加齢）

【発表者】 H. Piazena

【概要】 メラトニン分泌抑制作用について，加齢やその他要因の影響について報告がなされた．高齢者においては若齢者と比較して作用のバラツキが大きくなり，作用閾値も異なる．また，眼への入射角度を狭めると，仮に出力を増大させたとしても細胞レベルでの反応が飽和してしまうことから効果は減少しやすいことなどが示された．

- (3) Light with a High Color Temperature Improves Restless Behaviour Among Institutionalized Older Adults with Dementia（認知症高齢者における高色温度光照明による行動改善）

【発表者】 M. Aarts

【概要】 認知症高齢者施設において，色温度 3000K，6500K の蛍光ランプによる高照度光照射を長期間実施した結果，6500K 条件において鼓膜温の上昇や Restless Behavior の減少を確認したとのこと．全般照明により高照度光空間を構成することで介護者の負担を低減できることも示唆された．

- (4) Design Recommendations for Biological Efficient Lighting（光生物学的作用を配慮した設計指針）

【発表者】 D. Lang

【概要】 ドイツでは独自に設計指針制定委員会を発足，測光方法，テクニカルチームの標準化，アクションスペクトルの定義，リコメンデーション作成などを目標として活動を進めているとのこと．具体的な設計指針としては，視野上方への光源の設置推奨や短波長光を吸収する透過／反射物の排除などが示唆された．

- (5) Developing Light as a Countermeasure for Circadian and Sleep Problems in Space Exploration (宇宙空間におけるサーカディアンリズム／睡眠障害への光による対処)

【発表者】 G. Brainard

【概要】 Philips 社製 17000K 蛍光ランプのメラトニン抑制作用は 4200K ランプと比べて 2 倍程度であることが報告された (サーカディアンリズム位相への作用については現在評価中)．また，月および火星探査を想定し，それぞれの地上での光の作用強度について評価を進めているが，いずれも短波長光が比較的少ないことから，サーカディアン作用は小さいだろうとのことであった．

- (6) Artificial Dawn Effects on Performance After Wake-up: Does Melatonin Play a Role? (Dawn simulation が起床後のパフォーマンスに及ぼす影響)

【発表者】 M. Gimenez

【概要】 Philips 社製 Wake-up Light (Dawn simulation；夜明けを模擬し，起床前から起床時刻にかけて徐々に空間明るくする照明方法) の効果検証報告．実験室実験，フィールド評価の結果，起床後の目覚め感向上や皮膚温が低下しやすくなるといった効果が示唆された．

- (7) Benefits of Photobiological Light Exposure During Rapidly Rotating Night-Shift Work (夜勤における光照射の活用)

【発表者】 E. de Groot

【概要】 交代勤務のローテーション方法に応じた照明手法の検討．オランダや日本で一般的な短期ローテーションにおいて，メラトニン抑制や位相変化をできる限り避け，覚醒度を維持する照明手法について検討を進めているとのこと．

(野口 公喜)

4 - 4 . 20th Anniversary Meeting Society for Research on Biological Rhythms

4 - 4 - 1 . 会議情報

開催日：2008年5月17日～21日

場所：フロリダ（アメリカ）

主催組織：SRBR（Society for Research on Biological Rhythms）

<http://www.srbr.org>（大会抄録）

4 - 4 - 2 . 報告概要

- (1) Melanopsin-Containing IpRGCs Are the Main Conduit for Rod/Cone Light Input to Non-Imageforming Visual Functions(メラノプシンを含む ipRGC は桿体/錐体から非視覚機能へ入力される光の主経路である)

【発表者】 S. Hattar, A. D. Güler, J. L. Ecker, G. S. Lall, O. Dumitrescu, K. Y. Wong, C. M. Altimus, D. M. Berson and R. J. Lucas

【概要】 光の非視覚機能は桿体と錐体からの光入力も受けているが、その経路はよくわかっていなかったため、ipRGC を遺伝的に取り除いたマウスを使って実験を行った。その結果、ipRGC を取り除かれたマウスは光に対する非視覚機能がほとんど消失し、桿体/錐体からの光入力は ipRGC を介していることが示された。また、ipRGC の形態、光に対する反応、脳への投射などから、ipRGC には3つのサブタイプが存在する可能性も報告された。

参考論文) A. D. Güler et al, Nature, 453, pp.102-106 (2008).

- (2) Intensity- and Duration-Dependent Changes in the Spectral Sensitivity of Human Circadian Photoreception (光の強度と持続時間によって変化するヒト概日光受容体スペクトル感度)

【発表者】 S. W. Lockley

【概要】 今まで、短波長の青色光はメラトニン抑制や概日リズムの位相変化に強い影響力を持つことが知られていたが、必ずしもそうではないことが報告された。緑色光（555 nm）と青色光（460 nm）を夜間に曝露した結果、曝露開始後の早い時間帯または弱い強度の光では、緑色光の方がメラトニンの抑制率が大きく、概日リズムの位相変化も大きいことが示された。

- (3) Long-term Effects of Artificial Dawn on Sleep Inertia: Does Melatonin Play a Role? (人工的な夜明け照明の睡眠慣性におよぼす長期的な効果：メラトニンの作用はあるのか?)

【発表者】 M. C. Gimenez, M. Hessels, M. van de Werken, B. de Vries, D. G. M.

Beersma and M. C. M. Gordijn

【概要】 人工的な夜明け照明 (Dawn Light) が睡眠慣性 (目覚め直後の強い眠気や倦怠感) に及ぼす影響が報告された。約 1 ヶ月間の家庭での実験が行われた。Dawn Light (50 lx と 250 lx) は概日リズムの位相を有意に前進させる作用はなかったが、250 lx の照度で睡眠慣性が有意に減少した。起床前から浴びる人工的な光は、概日リズムに影響を及ぼすことなく、目覚め感を改善することが示された。

(4) New Insights and Techniques for Understanding the Health Impact of Circadian Disruption (概日リズムの乱れの健康影響を測る新しい考えと技術)

【発表者】 M. S. Rea, A. Bierman, M. G. Figueiro and J. D. Bullough

【概要】 新たに開発した頭部装着型の光測定デバイスを使って、交替制勤務に従事する看護師の活動量と光曝露量が 24 時間連続で測定された。一日の総光曝露量は交替制勤務者と日勤者の間で有意な違いはなかったが、交替制勤務者は活動と光曝露量のパターンに乖離があった。このデバイスを使うことで、不適切な光曝露と概日リズムの乱れの関係を、フィールドにおいてよりシステムティックに調べることができるかもしれない。

参考論文) M. S. Rea et al, J Circadian Rhythms 6 : 7 (2008).

(5) The Spectral Quality of Light Affects Brain Responses to Emotional Stimuli in Humans (情動刺激に対する脳の反応に光の波長が影響を及ぼす)

【発表者】 G. Vandewalle, S. Schwartz, D. Grandjean, C. Wuillaume, E. Balteau, C. Phillips, A. Luxen, D. J. Dijk and P. Maquet

【概要】 情動を惹起する刺激は脳の特定部位の活動を高めるが、それが光の波長によって影響を受けるかどうか機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いて確かめられた。短波長の青色光は緑色光に比べて情動刺激に対してより扁桃体の活動を増加させることが明らかとなった。光の非視覚作用にかかわる光受容システムが、情動反応にも関与していることが示唆された。

(6) Circadian Light: 1+1<2 (概日リズムに関連する光: $1 + 1 < 2$)

【発表者】 M. G. Figueiro, A. Bierman and M. S. Rea

【概要】 青色光 (450 nm, 0.077 W/m²) と緑色光 (525 nm, 0.211 W/m²) の光を片目ずつに照射した場合と、それぞれの色光のエネルギーを半分にして混合した光を両目に照射する条件で、メラトニンの抑制率が比較された。両目全体で受ける光の波長のエネルギーに違いはないが、混合光の条件でメラトニンの抑制率が有意に低かった。概日リズムへの光の影響も、網膜にある反対色ニューロンの影響を受ける可能性があることが示された。

参考論文) M. G. Figueiro et al, Neurosci Lett, 438, pp.242-245 (2008).

- (7) Blue-Enriched White Light in the Workplace Improves Self-Reported Alertness, Performance, and Sleep Quality (職場での青色成分を多く含んだ白色光は主観的な覚醒度, パフォーマンス, 睡眠の質を改善する)

【発表者】 D. J. Dijk, L. M. James, L. J. M. Schlangen and A. U. Viola

【概要】 104名のオフィス労働者を対象に, 日中に曝露される17000Kの高色温度照明の影響が調べられた。光曝露期間は4週間であった。4000Kの白色蛍光灯に比べて, 17000Kの照明では, 労働者の主観的な覚醒度, 気分, パフォーマンス, 夜の疲労感などが有意に改善された。また, 夜の主観的な睡眠感も改善していたことも報告された。

参考論文) A. U. Viola et al., *Scand J Work Environ Health* 34: 297-306, 2008.

- (8) Light at the Wrong Time: Short-Term Bathroom Light Influences Physiology and Behavior (間違った時間の光: 短時間のBathroom Lightは生理や行動に影響する)

【発表者】 D. Kunz

【概要】 日常で経験する照度(130~500 lx)と分光分布(青色成分を含む光源と含まない光源)の光がメラトニンと主観的な覚醒度に及ぼす影響が調べられた。就寝時刻の1時間前から30分間という短い曝露時間にもかかわらず, 青色成分を含む光でメラトニンが有意に抑制され, 主観的な覚醒度も上昇していた。一方で, 青色成分を含まない黄色の光はメラトニンに影響を及ぼさないことが報告された。

- (9) Effects of Diurnal and Nocturnal Bright Light Exposure on Human Performance and Wake EEG (日中と夜の高照度光曝露がヒトのパフォーマンスと覚醒脳波に及ぼす影響)

【発表者】 M. Rüger, M. C. M. Gordijn, B. de Vries and D. G. M. Beersma

【概要】 5000 lxの光を夜(0時~午前4時)と昼(正午~午後4時)に曝露し, 眠気やパフォーマンスに及ぼす影響が比較された。夜の高照度光は反応時間を短縮し, 閉眼覚醒時の脳波 α 波パワーを有意に増加させた。しかし, 昼間の光は脳波に有意な作用を及ぼさなかった。光が覚醒脳波に及ぼす影響は時刻によって異なることが示された。

- (10) Differences in Breast Cancer Risk in Blind Women with and without Light Perception (光を知覚できる盲目患者とできない患者の乳がんリスクの違い)

【発表者】 E. E. Evans, R. G. Stevens and S. W. Lockley

【概要】 北米に住む光を知覚できる盲目女性(958名)と光を知覚できない盲目女性(396名)を対象に, 乳癌の病歴が比較された。その結果, 光を知覚できない盲目女性は有意に乳癌になりにくいことが分かった(オッズ比=0.45, 信頼区間: 0.25~0.80)。さらに, 視力が良くなるほど乳癌のリスクが高くなることも分かった。盲目患者において光の知覚の有無が

乳癌のリスクに関係があることが示された。

- (11) Room Light Alters the Timing of Melatonin Synthesis (部屋の照明はメラトニン合成のタイミングを変化させる)

【発表者】 J. J. Gooley, K. Chamberlain, C. A. Czeisler and S. W. Lockley

【概要】 100名の被験者を対象に、就寝前の室内照明(200 lx以下の照度で8時間の曝露)のメラトニン合成に及ぼす影響が実験室で調べられていた。その結果、99%の被験者でメラトニンの分泌開始時刻が後退していた(平均1.53時間)。しかし、メラトニンの分泌終了時刻には有意な室内照明の影響は認められなかった。就寝前に浴びる室内照明はメラトニンを一時的に抑制するが、概日リズム位相には影響しないことが示された。

- (12) Subjective Tiredness, Wrist Activity, and Sleep Fragmentation Score under the Influence of Daytime Low UV Light Radiation in Humans (日中の低量の紫外線曝露がヒトの疲労感、活動量、睡眠断片化スコアに及ぼす影響)

【発表者】 N. N. Takasu, T. Wakamura, T. Oishi, M. Yoneda, K. Muramatsu, K. Komatsu, M. Kondo and H. Torkura

【概要】 VITA-LITEを光源に用いて、紫外線遮断フィルタ有りと無しの場合で、低量の紫外線曝露(日中に8時間、背中に曝露)の影響が調べられた。紫外線有り条件では、主観的な疲労感、手首で測定した活動量が有意に増加した。曝露後の睡眠では、睡眠構築の断片化が多くみられたが、直腸温や尿中メラトニン分泌量には有意な差は認められなかったことが報告された。

- (13) Correlations among Inter-Individual Differences in Non-image Forming Effects of Light at Night (光の非視覚作用の個体差とその相関)

【発表者】 S. Higuchi, S. Aritake, M. Enomoto, H. Suzuki, A. Hida, M. Tamura, M. Takahashi and K. Mishima

【概要】 夜の光はメラトニンを抑制するが、同時にその個体差も大きい。また、光は概日リズムの位相後退、覚醒度やパフォーマンスの増加を引き起こすが、その関連性はよくわかっていない。21名の被験者に対して、夜間の光曝露(4時間、1000 lx)が行われた結果、メラトニン抑制と相関があったのは概日リズムの位相後退量で、それ以外の指標に有意な相関は認められなかった。光の生理作用には様々な要因や複雑なメカニズムが存在することが示唆された。

- (14) Acute Effects of a One-Hour 10,000 Lux Light Exposure on Subjective Sleepiness Ratings (1時間の10,000 lxの光曝露が主観的眠気に及ぼす急性の影響)

【発表者】 M. Rueger, C. J. Hanley, J. Ricker, C. A. Czeisler and S. W. Lockley

【概要】 夜間の短時間の高照度光曝露(1時間、10000 lx、白色光)が主観的な

眠気に及ぼす影響が調べられた。夜のどの時間においても、1 時間の高照度光曝露は主観的な覚醒度を増加させることが明らかとなった。高照度照明は薬を使わない眠気予防法として有効であることが報告された。

- (15) Efficacy of Blue-Enriched Fluorescent Light for Melatonin Suppression and Circadian Phase Resetting (青色成分を多く含んだ蛍光灯がメラトニン抑制と概日リズム位相のリセットに及ぼす効果)

【発表者】 J. Hanifin, K. Cecil, K. West, M. Jablonski, B. Warfield, M. James, M. Thiessen, S. Jasser, M. Stone, R. Fucci, E. Martin, B. Byrne, E. Gerner, M. Rollag, S. Lockley and G. Brainard

【概要】 青色成分を多く含む高色温度光源(17000K)と通常の白色光源(4100K)を用い、異なる放射照度(9条件)で、夜2時から90分間の光曝露が行われ、メラトニン抑制の用量反応関係の存在が確認された。また、同じフォトン数の光を夜中に6.5時間曝露した場合、17000Kの光源ではメラトニンの抑制率が有意に高く、位相の後退量も有意に大きいことが報告された。

(樋口 重和)

5．海外事例調査報告～オランダにおける照明設計指針事例～

オランダの Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde（NSVV）は1998年に光の非視覚的影響に関する調査を開始，その重要性の認識により「光と健康“Light and Health”」に関する調査委員会が設立された．そして2003年に“RECOMMENDATION: Light and Health in the Workplace”を刊行した．このような光の非視覚的影響を考慮した公的な照明設計指針は，少なくとも現時点では世界的に例が無く，初めての試みであると推測される．そこで本委員会では上記指針を入手し，その内容について調査を実施したので以下に報告する．

5 - 1．各章構成

当指針は以下の7章とまえがき，用語集にて構成されている．

序文

第1章：光と健康の歴史（The history of healthy lighting）

第2章：自然光と人工光（Daylight and artificial light）

第3章：オフィスにおける光（Light in the workplace）

第4章：生物時計（The biological clock）

第5章：光の非視覚的作用（Non-image forming effects of light）

第6章：設計指針（Recommendations）

第7章：光と健康に関するケーススタディ（Healthy lighting case studies）

用語解説

5 - 2．指針（RECOMMENDATION: Light and Health in the Workplace 第6章より）

以下に，具体的な照明指針が示された第6章の要約を示す．

5 - 2 - 1．イントロダクション

光の非視覚的作用（non-image forming effect；以下NIF effect）は健康や生産性にポジティブな影響を及ぼす．これらに関する情報は今のところ広く認知されていないが，不満のみならず，より良い照明環境を求める声は多い．不満は頭痛から危険性や生産性低下，高欠勤率までにおよび，交代勤務に特に関連している．そのような問題を防止するための照明に対する要求が高まっており，自然光や健康のための光環境に関するアドバイスを求める声も増えている．現時点で知り得る情報を考慮すれば，健康のための照明の主たる要因を特定することが可能である．本稿はヒトの視覚と非視覚的作用（ここでいう“非視覚的作用”とは，生物時計機構および睡眠/覚醒への作用）に基づいた新しいオフィス照明基

準確立に向けての第一歩となるであろう。健康と生産性の向上により、雇用者と従業員の両者が恩恵を得ることができる。

5 - 2 - 2 . 職場における照明ニーズ

() 視覚的ニーズ

多くの視作業のための照明要件は、EN12464-1 などの欧州基準として定められている。この照明基準の狙いは「視覚的快適性とパフォーマンスにおける要求を満たす屋内作業環境のための照明基準。ただし、職場における従業員の安全性や健康と関連する要件は含まない。」と定義されている。このことは、この照明基準が職場の安全や健康と関連する従業員の照明ニーズをカバーするものでないことを意味している。作業性と関連する視覚的ニーズに関して、我々が検討すべきは以下の3点である。

- (1) 基準に適合する照明
- (2) 生産性向上
- (3) 安全性と欠勤の減少

() 非視覚的ニーズ

非視覚的作用に関連して、照明は以下の要件を満たす必要がある。

- (1) 生物時計の調整
- (2) 直接的覚醒作用の活用 (initiating direct stimulation effects)
- (3) 気分と活力の向上
- (4) パフォーマンスと生産性の向上
- (5) 安全性向上と事故、欠勤の低減

5 - 2 - 3 . 要件と指針 (Requirements and recommendation)

() 視覚タスクに関する要件 (Visual task requirements)

EN12464-1 では多くの一般的な視覚タスクのための様々な制限を定義している。それらの制限とは、照度、不快グレア (UGR 法)、演色評価指数の維持についてである。一般的な屋内照度の下限値は 200lx だが、オフィスワークや様々な産業タスクでは照度 500lx 以上、演色評価指数は Ra80 以上が要求される。光環境は自然光または人工照明、もしくはその組合せにより提供される。不快なチラツキや stroboscopic 効果は避けなければならない。またこの基準では“色の見えに関する選択は心理的、美的な問題と捉えるか、もしくは何を自然と考えるかに依存する”とされている。また、年齢や日勤、交代勤務、夜勤における労働時間には言及されていない。

() 非視覚的作用に関する要件 (Recommendations for NIF effects)

労働のタイミングは毎日の明暗ニーズを決定する上で重要な要素である。日勤の場合は

自然の明暗サイクルを維持することが望ましい。これは、無窓のオフィスや冬季を含み、非視覚的作用に関する照明要件がオフィスで満たされるべきであることを意味している。

夜勤では、業務中と帰宅途中の覚醒度が維持でき、その後の安眠が確保されなければならない。また可能であれば、ここでも 24 時間の明暗サイクルが維持されるべきである。夕勤 (working in the evening) においても、とくに勤務後の速やかな睡眠のため、自然の明暗サイクルが要求される。

これらから、以下のような健康のための照明要件が導出される。

- (1) 自然もしくは調整された 24 時間周期の明暗リズムおよび睡眠 / 覚醒リズムを維持すること
- (2) 生物時計制御に十分な光量 (光同調および位相調整)
- (3) 各シーズンに適した照明 (winter blues ^注 , 暗期 , 短日期などへの対応)
- (4) 1 日の仕事を通しての最適化 (Monday morning effect , ポストラランチディップ , 夕勤・夜勤への悪影響)
- (5) 覚醒度の維持・向上

注) winter blues : 「冬季うつ病」との診断には至らないものの、冬季における軽度の気分の悪化などといった自覚症状が生じること。日本でも同様の症状は存在すると思われるが、対応する日本語は存在しない。

これらにより以下のような利点が生じる。

- ・ 健康と生産性の向上
- ・ 欠勤の減少

多くの文献において、非視覚的作用 (生体リズム調整 , 覚醒度向上 , 冬季の気分向上など) を生じさせるための照明レベルが特定されている。その作用の大きさは曝露のタイミングと長さ、および 500lx から 2500lx までの範囲での目の位置での照度に大きく依存する。ドイツのライティングハンドブックでは、金属工場において照度を 300lx から 2000lx へ上昇させることで生産性が向上した例が紹介されている¹⁾。より高い照明レベルで非視覚的作用の効果が現れ易くなり、生産性は 20% 以上向上したとされている。

430nm ~ 480nm の青緑光が非視覚的作用と強く関連しており、明所視 (555nm ピーク) ・ 暗所視感度 (507nm ピーク) とは異なっている。照明設計において、このことは高色温度照明がより効果的な非視覚的作用を生じさせることを意味している。色温度 4000K の蛍光灯照明は 12000K と比較して 30 ~ 50% 効果が小さくなる。しかし実用においては、それらの照明が作業内容や日勤・夜勤・交代勤務に対して職場で受け入れられるかどうかで決定される必要があり、天候や季節も考慮されなければならない。

図 5.1 は最近報告された非視覚的作用のアクションスペクトルを示している^{2) 3)}。網膜上における非視覚的作用に対応する光受容器の存在を示唆する最近の研究の結果において

も類似したアクションスペクトルが報告されており，光に反応する神経節細胞は同様の波長域に吸収ピークを持つメラノプシンを有していることが報告されている⁴⁾。

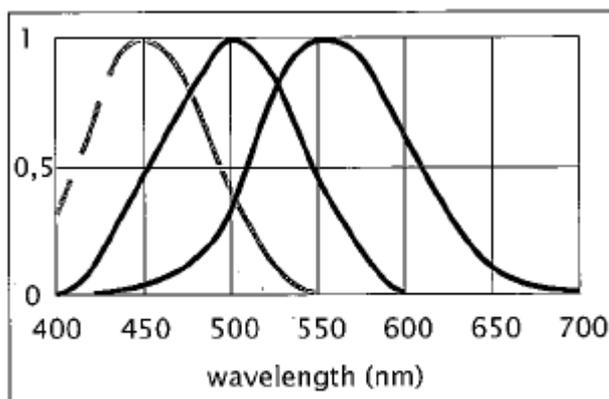


図 5-2-1．非視覚的作用における波長感度特性（左）²⁾³⁾

暗所視感度(中央)，明所視感度(右)

()安全性

非視覚的作用におけるアクションスペクトルのピークは青色領域に存在する．このことは青色光もしくは長波長 UV の応用につながる可能性も考えられる．Winter blues の予防などの多くの効果には，現在一般的に用いられている照明よりも強いレベルでの照射が要求される．したがって，不適切なアプリケーションは網膜のダメージへとつながる可能性がある．

UV に関して，350nm 以下の波長域であればほとんどが水晶体で吸収されるため，非視覚的作用はない．また，350～400nm の波長域の作用も相対的に小さい（水晶体吸収特性を参照，図 5.2）．したがって，UV は除外して考えるべきである．ただし，青色光（主に 400nm～500nm）は網膜にブルーライトハザードと呼ばれる光化学的なダメージを与える．

波長 400nm～1400nm の光を用いた高照度照射は網膜に熱的ダメージを与える可能性もある．

これらの詳細や照射限界については，全ての照明システムが準拠すべき CIE standard S 009/E: 2002 を参照すること．

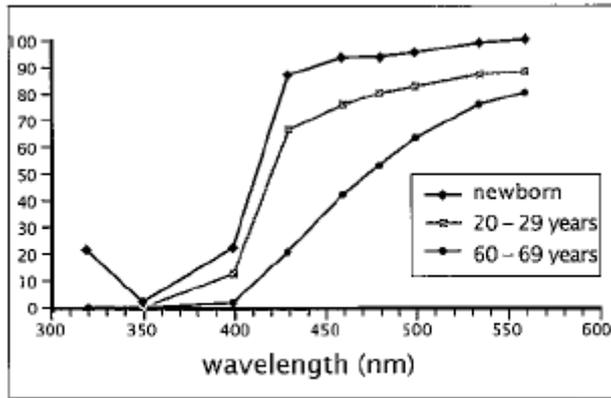


図 5-2-2 . 水晶体の波長透過特性と年齢の関係⁵⁾

5 - 2 - 4 . 照明要件の提案

以下に記すオフィス照明要件の提案は、視覚作業のための推奨要件に加え、現時点で理解されている目からの入力による非視覚的作用にも基づいている。生じる非視覚的作用の度合いは主に、照度、光量 (dose)、時間そして色温度により決定される (図 5.3)。視作業のパフォーマンスに悪影響が生じない範囲で、昼光も最大限に活用することが推奨される。これは省エネと心理的作用の両者において重要である。

最近まで、非視覚的作用に関連するレスプターは網膜全域に均一に存在すると考えられてきた。それゆえに、直射 / 間接を問わず点光源よりも面光源を用いる方が効果的であると思われた。なぜなら、点光源による光は網膜のごく一部に入力されるため、大部分の視細胞が活性化されないからである。しかし最近では、網膜の下側がより大きく非視覚的作用に貢献していることが示唆されている。それが事実だとすれば、視野の上半分に設置された光源がより強い作用を有するかもしれない⁶⁾。

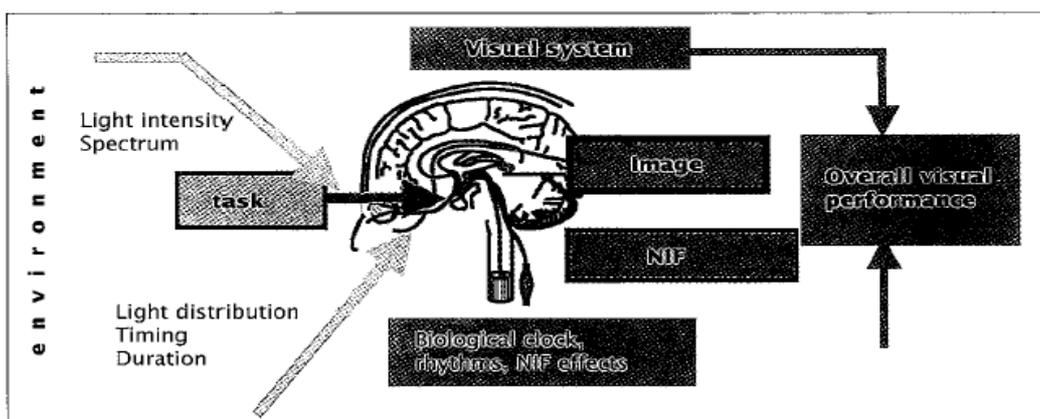


図 5-2-3 . パフォーマンスに対する視覚/非視覚的作用概念図⁷⁾

() 日勤

図 6.4 は日勤における照度および色温度変化パターンの提案である。1日の始まりは、高

照度・高色温度が望ましく、とくに冬場は1日の良い始まりに貢献する。その後、照度を最低レベルまで低下させるが、もし必要であれば、ポストラランチディップ（昼食後の時間帯に生じる一過性の覚醒度低下）を抑制するために昼食後に一時的な高照度照射を設ける。昼食時には昼光（自然光）と新鮮な外気を楽しむことも推奨される。午後は照度を通常レベルまで落としてもよい。また（午後）最後の数時間は、集中力や覚醒度の低下、冬季における自然光の欠如に対応するため、再び照度を上昇させてもよい。

覚醒度上昇のための照度は1000～1500lxである。その下限値の場合、10000K以上といった高色温度照明が推奨される。例えば始業時において、照明が徐々に調節されることで非視覚的作用はより顕著となる⁸⁾。職場（workplace）において、このような覚醒度上昇（つまり高照度光照射）のタイミングは、各個人の要求を満たすために各従業員の判断に委ねてもよい。

個人的嗜好や自然光とのバランスを考慮した場合、調光および色温度を4000Kから6000Kに低下させることにより、視覚的な照明基準の最低レベルまで照度・色温度を低下させる。注意集中を阻害しない範囲であれば、雲の移動による光の変化など有益なシミュレーションを付加するのも良いかもしれない。

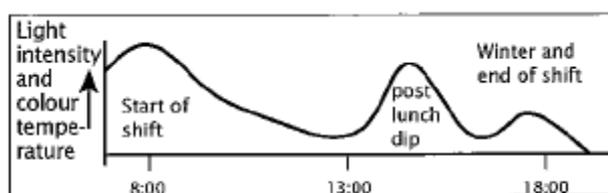


図 5-2-4 . 日勤時に推奨される照度/色温度変化パターン

日の出の模擬（dawn simulation）や光浴（light bath）、高照度下での朝食により、労働日の始まりにおける快適な目覚めを促進することができる。これは通勤中の安全性と良い1日の始まりにもつながる。また、良い睡眠は夜間における低照度・低色温度照明によりもたらされる。

() 午後および夕勤 (Afternoon and evening shift)

例えば 16 時に勤務開始となる場合、図 5.4 に示された日勤同様に高照度・高色温度光による覚醒度向上が提供されても良い。時間の経過により、通常照明まで減少させることができる。もし、照度を一定に保つのであれば、シフトの終了にむけ色温度を低下させる（例えば 2500K）ことが望ましい。ただし、運転による帰宅のための覚醒度確保を目的として、従業員は終業時に高照度・高色温度光による覚醒度上昇を選択することもできる。

() 夜勤

夜勤従事者は、一般的な生物リズムと乖離した睡眠/覚醒リズムの影響に対処しなければ

ならない。このことは慢性疲労，ストレス，緊張などの問題につながり，長期的には消化器・循環器障害や鬱病，重度の不眠症を発症させる。また，生産性の減少や業務中・通勤中における事故リスクの上昇，時には高い欠勤率にもつながることとなる。深夜には覚醒度が最低となり，事故率を上昇させる。さらに，短時間で妨害要素の多い質の悪い日中の睡眠は，翌日の夜勤における悪影響をさらに悪化させる。

多くの実験室実験やフィールド実験の結果は，夜間に目から入力される光による非視覚的作用が強いことを示唆しているが，同時に個人差も大きい。したがって，可能であれば個人により調節可能な照明制御装置が提供されることが望ましい。いかなる場合においても，夜勤時の照明は日勤時のような一つの標準照明を用いるのとは区別して考えるべきであろう。サーカディアンリズムのリセット（調整）や非視覚的作用が従業員の夜勤への適応を容易にし，同時に生産性を向上させる。以下のオプションが提供される。

- a) サーカディアンリズム（位相）にほとんど影響を及ぼさない照明
- b) サーカディアンリズム（位相）に中程度の影響を及ぼす照明
- c) サーカディアンリズム（位相）に最大の影響を及ぼす影響
- d) 夜間運転者を覚醒させる青色照明

オプション a) ~ c) において推奨される照明強度および色温度は，要求される位相変化の度合いによって決定される。またオプション d) は屋外警備や運転など，低い照明レベルが前提となる場合に適している。照明のタイミングは要求される位相変化に応じて，每晚変化させる。各個人における感度の違いも考慮されるべきである。日勤と同様に，覚醒度向上はオフィスや食堂・休憩所における休憩中のいずれにおいても，適切なタイミングで提供される。ハーバード大学の実験プロトコルに基づいて，6夜のシフトパターンにおいて高照度光照射を用いたアプリケーションの評価が行われているが，その結果は期待に応えるものであった⁹⁾。

5 - 2 - 5 . 結論

ここで紹介したオプションは健康増進のための照明を開発するにあたってのきっかけとなりえるが，そのいくつかは実用化に向けた試行が必要である。まとめると，照明デザインでは視覚および非視覚的作用の両方におけるニーズに応えるべきである。このことは，照明デザインにおいて職種や作業種，労働時間，シフトパターン，天候，季節および個人差が考慮されなければならないことを意味している。明らかに言えるのは，最適化された照明システムとは照度と色温度を自在にコントロールでき，ちらつきがなく，優れた演色性を提供するものである。

参考文献

- 1) Lange, H.: Handbuch für Beleuchtung, SLG, LiTG, LTG, NSVV, 5. Auflage, (1999)
- 2) Thapan, K., Arendt, J. and Skene, DJ.: An action spectrum for melatonin

suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *J Physiol.*, 535(Pt 1), pp.261-267 (2001)

- 3) Brainard, G.C., Hanifin, J.P., Greeson, J.M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. and Rollag, M.D.: Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J Neurosci*, 21(16), pp.6405-6412 (2001)
- 4) Berson, D.M., Dunn, F.A. and Takao, M.: Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, *Science*, 295(5557), pp.1070-1073 (2002)
- 5) Brainard, G.C. et al.: Ocular mechanisms that regulate the human pineal gland, *Advances in Pineal Research* 8, 43, pp.415-432 (1994)
- 6) Glickman, G., Hanifin, J.P., Rollag, M.D., Wang, J., Cooper, H., Brainard, G.C.: Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans, *J Biol Rhythms*, 18(1), pp.71-79 (2003)
- 7) Van den Beld, G.J.: What is healthy light at the work place?, 25th Quadrennial Session of the CIE, San Diego (2003)
- 8) Hut, R.A. et al.: Light stimulation of the circadian system; temporal variation effects, Abstract book 8th Meeting SRBR, Abstract 13, p.31 (2002)
- 9) Baker, T.L.: Use of circadian lighting system to improve night shift alertness and performance at the US Nuclear Regulatory Commission Headquarters Operations Centre, Proceedings ANS International Meeting, Washington (1995)

5 - 3 . 当委員会の見解

明視性に関する既知の概念と併せて、非視覚的作用に関する最新の知見を分かりやすく紹介し、照明設計における大きな方向性を示した点では評価できるものである。しかし一方で、明示されている照度・色温度などの具体的な数値目標の根拠が不明瞭であることや、交代勤務における照明制御提案などについてはかなり曖昧な点も多く、これらにより混乱や誤解を生じさせることも懸念される。現段階での指針制定にはこのようなりスクが少なからず存在するが、数年内に日本照明学会においても何らかの指針を定めるとすれば、このようなりスクをどこまで低減できるかが一つの課題となるであろう。

(野口 公喜)

6．国内研究事例

日本国内の研究者によって行なわれた光が生体機構へ及ぼす影響に関する研究が本委員会内で報告された．ここでは，委員会内で報告された9件の研究について紹介する．

6 - 1．メラノプシンが関与する瞳孔対光反射の分光感度

6 - 1 - 1．はじめに

光はヒトに色や形，明るさなどの情報を知覚させるだけでなく，生体機能の様々な面へも影響を与えている．色や形，明るさなどを知覚させる光の効果は視覚的效果と呼ばれており，生体機能へ影響を与える光の効果は非視覚的效果と呼ばれている．これまで失明などによって光を感じるができなくなったヒトは光による視覚的效果と非視覚的效果による影響がなくなると考えられていた．しかし，光覚のない視覚障害者の中に光による非視覚的效果による影響を受けるヒトがいることが報告されている¹⁾．このことから，非視覚的效果にはこれまで知られている光受容器とは別の光受容器が作用していることが示唆されている．

このような既往報告があるなか，2002年にBrown大学のDavid M. Bersonら²⁾によって哺乳類の網膜に未知の光受容器があることが発見された．未知の光受容器は網膜の神経節細胞層にあり，視物質メラノプシンを含む少数の網膜神経節細胞(ipRGC)が光受容器として働いていた．ipRGCで受容された光情報は脳内の視交叉上核(SCN)，外側膝状体の一部の層(IGL, VLG)および視蓋前域オリブ核(OPN)に投射していたことから，生物時計の調節と瞳孔反射にipRGCからの光信号が入力していることが考えられる．ノックアウトマウスを使った瞳孔反射に関する研究³⁾から，ipRGCは放射量が強く，瞳孔径が小さくなる時に働くことが示唆されている．以上より，本報告では瞳孔反射の分光感度から，ipRGCの瞳孔反射への関与を考察することを研究目的とした．

6 - 1 - 2．実験方法

被験者は2種類の分光分布，10段階の光強度の光を観察し，そのときの瞳孔径から瞳孔反射の分光感度を求めた．2種類の分光分布は500Wのタングステンランプに2種類の分光透過率の異なるアクリル板(乳白色，紫)を透過させることで作成した．図6-1-1に実験で使用したアクリル板の分光透過率を示す．10段階の光強度は濃度が0.3ずつ異なるNDフィルタによって作成した．目の位置における鉛直面照度は乳白色アクリル板使用時で0.26～229 lx，紫色アクリル板使用時で

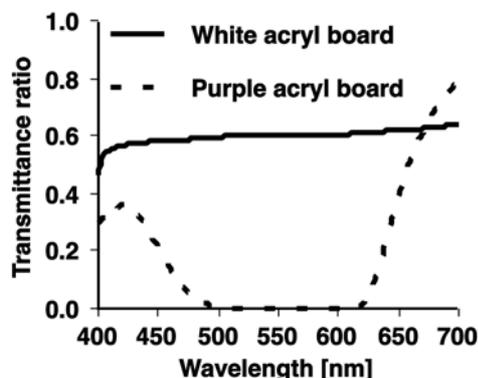


図6-1-1 アクリル板の透過率

0.22 ~ 125 lx であった。被験者の頭部はあご台で固定され、250 mm 前方にある視角 20 deg の円形刺激を観察した。円形刺激の中心に固視点が設けられ、被験者は固視点を注視し続けた。実験は、暗順応 1 分、光曝露 1 分、休憩 3 分が繰り返された。同一条件の繰り返しは 6 回であった。瞳孔径は眼球運動計測装置 (EMR-8, ナックイメーজテクノロジー) によって、60 Hz で連続記録された。

6 - 1 - 3 . 実験結果

瞳孔径は光曝露開始 15 秒後を中心とした 15 秒間の平均値から求めた。本実験で設定した条件によって瞳孔径は 2.6 ~ 4.3 mm の範囲で変化した (図 6-1-2)。瞳孔反射の分光感度は既往研究⁴⁾から、510 nm にピーク波長をもつ分光感度によって調節されることが報告されており、杆体によって調節されることが示唆されている。瞳孔反射の分光感度が杆体の分光感度で表されるのであれば、2 種類のアクリル板を透過した光による瞳孔径は

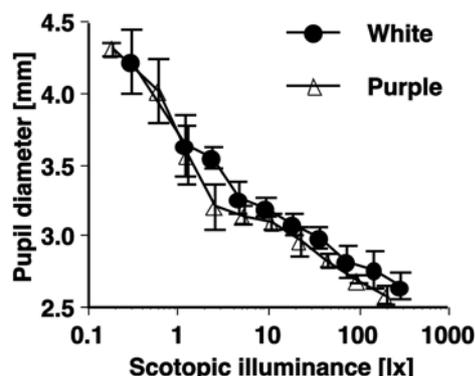


図 6-1-2 瞳孔反射の実験結果

いずれも暗所視照度の値から一意に決定することができると考えられる。本報告で得られた実験結果を横軸：暗所視照度、縦軸：瞳孔径で表したところ、暗所視照度が約 1 lx 以下 (瞳孔径が 3.5 mm 以上) では 2 種類のアクリル板による瞳孔径の値が暗所視照度の値から一意に決定することができ、暗所視照度が約 1 lx 以上 (瞳孔径が 3.5 mm 未満) では暗所視照度の値から瞳孔径を一意に決定することができなかった。

そこで、平均瞳孔径が 3.5 mm 以上になった条件群と 3.5 mm 未満になった条件群を分けて、各条件群の瞳孔反射の分光感度を調べた。分光感度は網膜にある光受容器の視物質の分光吸収特性⁵⁾と水晶体の分光吸収特性⁶⁾の積によって表すことができると仮定した。各条件の測光量を視物質の分光吸収特性と水晶体の分光吸収特性から計算した分光感度を使って算出した。そのとき、視物質のピーク波長を 460 ~ 520 nm の範囲で 1 nm 毎に変化させた分光感度ごとに測光量を計算した。各条件群について、視物質のピーク波長を変化させて作成された分光感度を使って測光量を計算したものを横軸にし、縦軸を瞳孔径の実験結果にして、その関係をロジスティック関数 ($Y = (A_1 - A_2) / \{1 + (x/x_{50})\} + A_2$) で近似し、決定係数 R^2 が最も高いものが各条件群の瞳孔反射を最も良く説明する分光感度だと考えた。分析の結果、平均瞳孔径が 3.5 mm 以上になった条件群では視物質のピーク波長が 497 nm の時に最も決定係数 ($R^2=0.75$) が高くなった。平均瞳孔径が 3.5 mm 未満になった条件群では視物質のピーク波長が 479 nm の時に最も決定係数 ($R^2=0.84$) が高くなった。

6 - 1 - 4 . 考察

網膜上にある視物質のピーク波長は S 錐体が 419.0 nm , M 錐体が 530.8 nm , L 錐体が 558.4 nm , 杆体が 496.3 nm であり ⁷⁾ ipRGC⁸⁾が 479 ~ 484 nm の範囲にあることが報告されている (図 6-1-3) . 以上より , 平均瞳孔径が 3.5 mm 以上になった条件群の瞳孔反射を調節している網膜上の視物質のピーク波長 497 nm の分光感度は杆体によって調節されていると考えられる . また , 平均瞳孔径が 3.5 mm 未満になった条件群の瞳孔反射を調節している網膜上の視物質のピーク波長 479 nm の分光感度は ipRGC によって調節されていると考えられる . 平均瞳孔径が 3.5 mm 以上の条件群のとき , 既往研究 ⁴⁾と同様の結果になり , 平均瞳孔径が 3.5 mm 未満の条件群のとき , 既往研究と異なる結果となった . これは既往報告 ⁴⁾では瞳孔径が 3.5 ~ 7 mm 弱の範囲に変化する条件で実験をしており , より瞳孔径が小さくなる条件で実験をしていなかったことが異なる結果が出た原因だと考えられる .

本報告より瞳孔径が 3.5 mm よりも小さくなるような強い放射量のとき , ipRGC の分光感度によって瞳孔反射の調節が行われることが分かった . ipRGC は生物時計の中枢にも光信号を送っており , 夜間に分泌されるメラトニンの光による分泌抑制や位相調節にも関係している . これらの研究分野では散瞳剤が使用されており , 瞳孔反射による網膜への到達光量変化がない状態で実験が行われているため , 瞳孔反射の分光感度に関する知見はメラトニンへの作用を実環境に応用する際に有効となるだろう .

(高橋 良香)

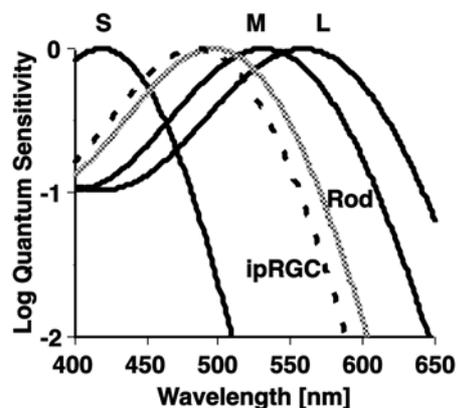


図 6-1-3 錐体 , 杆体 , ipRGC の視物質の分光吸収特性

参考文献

- (1) C. A. Czeisler, T. L. Shanahan, E. B. Klerman, H. Martens, D. J. Brotman, J. S. Emens, T. Klein and J. F. Rizzo III : Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light, N Engl J Med, 332, pp.6-11 (1995).
- (2) D. M. Berson, F. A. Dunn and M. Takao : Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, Science, 295, pp.1070-1075 (2002).
- (3) S. Panda, I. Provencio, D. C. Tu, S. S. Pires, M. D. Rollag, A. M. Castrucci, M. T. Pletcher, T. K. Sato, T. Wiltshire, M. Andahazy, S. A. Kay, R. N. Van Gelder and J. B. Hogenesch : Melanopsin is required for non-image-forming photic responses in blind mice, Science, 301, pp.525-527 (2003).
- (4) I. H. Wagman and J. E. Gulberg : The relationship between monochromatic light and pupil diameter. The low intensity visibility curve as measured by pupillary

- measurements, *Am J Physiol*, 137, pp.769-778 (1942).
- (5) A. Stockman and L. T. Sharpe : The spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength-sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype, *Vision Res*, 40, pp.1711-1737 (2000).
 - (6) A. Stockman, L. T. Sharpe and C. Fach : The spectral sensitivity of the human short-wavelength sensitive cones derived from thresholds and color matches, *Vision Res*, 39, pp.2901-2927 (1999).
 - (7) H. J. Dartnall, J. K. Bowmaker and J. D. Mollon : Human visual pigments: microspectrophotometric results from the eyes of seven persons, *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 220, pp.115-130 (1983).
 - (8) G. C. Brainard and J. P. Hanifin : Photons, clocks, and consciousness, *J Biol Rhythms*, 20, pp.314-325 (2005).

6 - 2 . 夜間の光曝露によるメラトニンの分泌抑制の季節差と民族差

6 - 2 - 1 . はじめに

近年, 光は様々な生理作用を引き起こすことが報告されている¹⁾²⁾. 光の有効利用は健康を増進させるが, 間違った利用は不健康に結びつくことも随分とわかってきている³⁾. しかし, 一方で光の生理作用には大きな個体差があることも無視できない⁴⁾. 照明の開発や設計を行う上で, 光の生理作用の個体差をどこまで考慮すべきだろうか. 残念ながら, その答えが見いだせるほど多くのエビデンスは揃っていない. 本研究では, 基礎的な段階として, 光の生理作用の個体差あるいは個体群差に及ぼす要因を明らかにすることを目的として, 季節差や民族差に着目した. 光に対する生体反応の指標として, 概日リズムをよく反映し, 光に鋭敏に反応するメラトニンを用いた.

6 - 2 - 2 . 光によるメラトニン抑制の季節変動⁵⁾

夜間に脳の松果体から分泌され概日リズムに支配されているメラトニンは, 光への急性曝露によって分泌が抑制されるという特徴がある. この光に対するメラトニン抑制は, 実験前の光曝露歴の影響を受け, 日常的に曝露される光の量が少ないとメラトニンの抑制が強くなることが報告されている⁶⁾. これは少ない受光量に対する適応反応と考えられている. このことから, 冬季の少ない日照量への適応反応として光に対するメラトニン抑制が大きくなる可能性がある. 日長が冬季と夏季で極端に異なる南極(南緯 75 度)では冬季にメラトニンの抑制率が高くなることが明らかにされている⁷⁾. しかし, 日本人を含め多くの人間が生活する中緯度地域での季節差はよく知られていない. 本研究では, 環境適応能の観点から光に対する感受性の季節差をメラトニンの抑制率を指標として明らかにすることを目的とした.

実験は秋田市(北緯 39 度)で 2004 年の冬季(1~2 月)と夏季(6~7 月)に行われた. 気象庁と国立天文台のデータをもとに作成した秋田市の 2004 年冬季と夏季の気象条件を表 6-2-1 に示す. 冬季は夏季に比べて日の出は約 2 時間半遅く, 日の入りは 2 時間早い. 日照時間は冬季で夏季の約 1/3 と短い. この冬季に短い日照時間は日の出と日の入時刻による影響だけではなく, 日本海側特有の冬季のどんよりした天候が影響している. 被験者

表 6-2-1 秋田市の 2004 年冬季と夏季の気象条件

	冬季	夏季
日照時間 (hour/month) ^{a)}	50.5	159.7
日の出時刻 ^{b)}	6:45	4:19
日の入時刻 ^{b)}	16:57	19:07
平均気温 () ^{a)}	1.3	21.8

a) 気象庁のデータより計算, b) 国立天文台のデータより計算

はインフォームドコンセントを得た秋田在住の健康な日本人男子大学生 10 名(平均年齢: 21.9 ± 1.2 歳)であった。被験者は実験の 1 週間前から普段の睡眠習慣に従って規則的な生活を送るように指示が与えられた。その間に睡眠日誌とアクチグラフ (Actiwatch-L, Mini-Mitter 社, U.S.A.) の記録を行った。また, アクチグラフの測定とあわせて, 被験者が曝露された光の照度を手首の位置で 1 分毎に記録した。

メラトニンの抑制率を調べるために, まず被験者の 24 時間のメラトニンの変動を調べる実験を行った。被験者は照度 15 lx 程度の薄暗い部屋で 24 時間(午前 9 時 ~ 翌日の午前 9 時まで)過ごし, その間に唾液を 1 時間ごとに採取した。唾液中メラトニン濃度は後日, ELISA 法 (Bülmann, Switzerland) を使って分析した。次にメラトニンの光曝露に対する抑制率を調べる実験を 1~2 週間後に行った。被験者は前の実験で得られた唾液中メラトニン濃度のピーク時刻の約 5.5 時間前に実験室に訪れ, ピーク時刻の 5 時間前から 3 時間の睡眠をとった。その後ピーク時刻の 2 時間前から 2 時間の光曝露をおこなった。光の曝露は天井照明によって行い, 光の照度は被験者の目の位置の鉛直面照度で 1000 lx, 色温度は 4500K (白色) であった。就寝前, 光曝露の直前, 光曝露から 1 時間後と 2 時間後に唾液を採取した。メラトニンの光曝露による抑制率は次式によって求めた。メラトニン抑制率 (%) = (曝露前のメラトニン濃度 - 曝露後のメラトニン濃度) / 曝露前のメラトニン濃度 $\times 100$ 。

睡眠習慣に関しては, 起床時刻が冬季で夏季に比べて有意に遅かった ($p < 0.05$) が, 就寝時刻および睡眠時間には冬季と夏季で有意な違いは認められなかった。メラトニン頂点位相にも冬季と夏季で有意な差はなかった。被験者が起床から就寝までの間に曝露された照度の平均値は夏季に比べて冬季で有意に少なかった ($p < 0.01$)。図 6-2-1 に光曝露前(0h)の唾液中メラトニン濃度を基準としたメラトニン抑制率の変化を示す。全体的な傾向とし

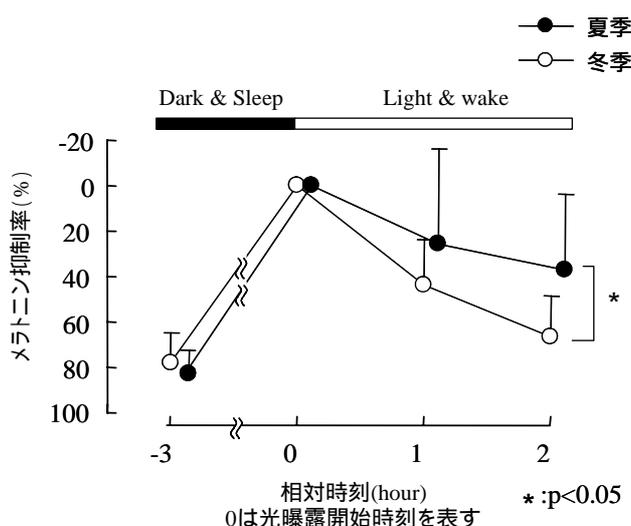


図 6-2-1 光曝露前(0h)のメラトニン濃度を基準としたメラトニン濃度の抑制率(平均値と標準偏差)(文献 5 を改変)

て光曝露前の3時間(睡眠中)にメラトニン濃度の増加が認められ、光曝露後にメラトニンが抑制されているのが分かる。曝露2時間後のメラトニン抑制率に有意差が認められ、冬季の抑制率(66.6 ± 18.6%)が夏季の抑制率(37.2 ± 33.2%)より有意に高い値を示した(p<0.05)。

本研究より、中緯度地域の日本でも地域によってはメラトニンの光に対する抑制率は夏季に比べて冬季で大きいことが明らかとなった。これは、冬季の少ない日照量に対して光の感受性を高めるという適応の結果と思われる。ただし、光感受性が高まることが季節性感情障害の予防に寄与しているかどうかについては、今後の研究が必要である。

6-2-3. 光によるメラトニン抑制の民族差(虹彩色の影響)⁸⁾

ヒトが少ない日照条件に対して獲得した遺伝的形質に皮膚の色がある。日照量(紫外線量)の少ない高緯度地域では骨の形成に必要なビタミンD不足を防ぐために、紫外線を吸収しやすい白い皮膚が生まれた。しかし、変化した形質は皮膚の色だけではなく、瞳の色も同様に薄くなったと考えられるが、その意義はよくわかっていない。季節性感情障害(SAD)には民族差があり、白人女性はアジア人女性に比べてSADの有病率が低いことが報告されている⁹⁾。また、SADの患者を対象としたアメリカの調査では、青い虹彩をもつ患者は、濃い虹彩をもつ患者に比べてSADの症状が軽いことが報告されている¹⁰⁾。これらの結果は、薄い虹彩あるいは民族の違いが光に対する反応へ影響を及ぼしている可能性を示唆している。そこで、本研究は生体リズムの観点から、薄い虹彩が光に対するメラトニンの感受性を高めるかどうかをメラトニンの抑制率から調べることを目的とした。被験者は秋田県在住で睡眠覚醒リズムに異常のない健康で薄い灰色から青緑系の虹彩を持つ男性コーカソイド群10名(平均26.4歳)と茶褐色の濃い虹彩を持つモンゴロイド群11名(平均25.3歳)であった。メラトニンの抑制率の求め方は前述の季節差の実験と同じ方法で行った。

図6-2-2に光曝露前のメラトニン濃度を基準としたメラトニン抑制率の変化を示す。コーカソイド群とモンゴロイド群の両群で就寝中にメラトニン濃度が上昇し、光曝露中にメラトニン濃度が抑制されているのがわかる。両群の抑制率を比較すると、曝露1時間後の抑制率に両群で有意差は認められなかった。しかし、曝露2時間後のメラトニン抑制率には有意差が認められ(p<0.05)、コーカソイド群で抑制率が有意に高かった。

本研究で薄い虹彩をもったコーカソイド群で濃い虹彩をもったモンゴロイド群に比べて有意に光に対するメラトニンの抑制率が大きかった。虹彩の色を決定するメラニン(網膜にも存在することが知られている。それは網膜色素上皮とよばれ、感覚網膜の下層に位置し、虹彩の色同様にコーカソイド群では色素が薄い。そしてこの網膜色素上皮のメラニンの役割は網膜に入った光の吸収と散乱を防止することにある¹¹⁾¹²⁾)。つまり、コーカソイド群は色素が薄い網膜を持つことで、より多くの光を吸収し、それが大きなメラトニン抑制に寄与した可能性が推察された。

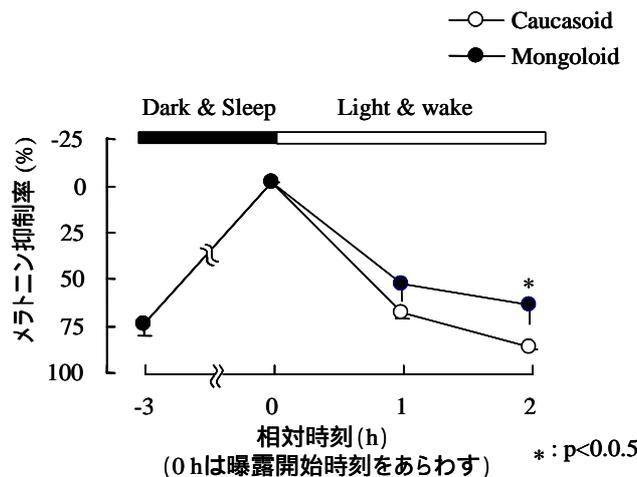


図 6-2-2 光曝露前のメラトニン濃度を基準としたメラトニン抑制率の変化 (平均値と標準誤差) (文献 8 を改変)

6 - 2 - 4 . まとめ

メラトニンの抑制率を中心に光に対する生体反応には季節差および民族差があることが明らかとなった。冬季のメラトニン抑制率の増加は少ない日照量への適応反応と考えられ、コーカソイド群の高いメラトニン抑制率は、薄い虹彩が少ない日照量に対して適応的な形質であることを示唆する結果であった。

近年の人工照明の普及および夜の明るい光が生体へ悪影響を及ぼすかもしれないことが危惧されている。光感受性に個体差や民族差があるとすると、人工照明のリスクにも個体差があるかもしれない。人工照明の開発や設計を行うに当たって、個体差の存在は無視できないかもしれない。それを証明し、設計に活かして行くには、より多くのエビデンスがこれから必要となる。

(樋口 重和)

参考文献

- (1) C. Cajochen : Alerting effects of light, *Sleep Med Rev*, 11, pp.453-464 (2007).
- (2) S. W. Lockley and J. J. Gooley : Circadian photoreception: spotlight on the brain, *Curr Biol*, 16, pp.R795-797 (2006).
- (3) R. G. Stevens, D. E. Blask, G. C. Brainard, J. Hansen, S. W. Lockley, I. Provencio, M. S. Rea and L. Reinlib : Meeting report: the role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases, *Environ Health Perspect*, 115, pp.1357-1362 (2007).
- (4) 樋口重和 : 光とヒトのメラトニン抑制, *時間生物学*, 14, pp.13-20 (2008).
- (5) S. Higuchi, Y. Motohashi, K. Ishibashi and T. Maeda : Less exposure to daily ambient light in winter increases sensitivity of melatonin to light suppression,

- Chronobiol Int, 24, pp.31-43 (2007).
- (6) M. Hébert, S. K. Martin, C. Lee and C. I. Eastman : The effects of prior light history on the suppression of melatonin by light in humans, *J Pineal Res*, 33, pp.198-203 (2002).
 - (7) J. Owen and J Arendt : Melatonin suppression in human subjects by bright and dim light in antarctica: time and season-dependent effects, *Neurosci Lett*, 137, pp.181-184 (1992).
 - (8) S. Higuchi, Y. Motohashi, K. Ishibashi, and T. Maeda : Influence of eye colors of Caucasians and Asians on suppression of melatonin secretion by light. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 292, pp.R2352-2356 (2007).
 - (9) K. Suhail and R. Cochrane : Seasonal changes in affective state in samples of Asian and white women, *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*, 32, pp.149-157 (1997).
 - (10) N. Goel, M. Terman and J. S. Terman : Depressive symptomatology differentiates subgroups of patients with seasonal affective disorder, *Depress Anxiety*, 15, pp.34-41 (2002).
 - (11) J. K. IJspeert, P. W. de Waard, T. J. van den Berg and P. T. de Jong : The intraocular straylight function in 129 healthy volunteers; dependence on angle , age and pigmentation, *Vision Res*, 30, pp.699-707 (1990).
 - (12) T. J. van den Berg, J. K. IJspeert and P. W. de Waard : Dependence of intraocular straylight on pigmentation and light transmission through the ocular wall, *Vision Res*, 31, pp.1361-1367 (1991).

6 - 3 . 単波長光の波長と脳波との関係

6 - 3 - 1 . はじめに

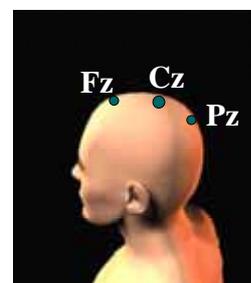
生理指標（脳波，血圧など）に照明の光色が与える影響については数多くの研究が行なわれている¹⁾⁻⁸⁾．しかし光色における生理指標の変化は既往研究によって結果が異なっている．本研究は光の波長成分の違いに注目し，単波長光の波長が生理指標に与える影響について実験を行った⁹⁾．今回は，測定を行った生理指標の中で脳波について結果を報告する¹⁰⁾．

6 - 3 - 2 . 実験方法

3種類の単波長光を被験者に観察させ，その時の脳波を測定した．詳細を表6-3-1に記す．

表6-3-1 実験方法の詳細

項目	内容
1 セッションの流れ	暗闇（5分） 単波長光提示（20分）
提示した単波長光	波長条件は458 nm，550 nm，670 nm（中心波長）．半値全幅は全て10 nm 強度は3 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ で統一 提示した大きさは54°（縦） \times 60°（横）．
脳波	<p><測定部位> 国際10-20法 Fz，Cz，Pzの3箇所</p> <p><導出方法> 基準電極導出法（基準電極は左耳朶）</p> <p><分析に利用した指標> α波帯域率・・・$\alpha / (\alpha + \beta)$ ここでのα，βは，1分間の積分値を意味する．α波（8～13Hz），β波（13～30Hz）は，FFT（高速フーリエ変換）によって算出．</p>
その他	被験者10名（全員色覚正常）．室温は25℃に統制．実験環境は防音室．実験は同一被験者に対して，同一時刻帯で行った．被験者は各単波長光条件に対し，1セッションの実験を行った．



測定部位

6 - 3 - 3 . 結果・まとめ

暗闇下と単波長光提示中との α 波帯域率について比較した．図6-3-1に単波長光の波長における α 波帯域率の変化量（測定時点での α 波帯域率 - 暗闇下での α 波帯域率．以下，変化量）を示す．図中の変化量は，各測定時点（単波長光提示直後，8分後，16分後）における変化量の被験者10名の平均値である．458 nmでの変化量がその他の単波長光に比べ，

大きくなる傾向を示した。図 6-3-2 に提示した単波長光の各波長における変化量の時系列変化を示す（被験者 10 名の平均）。提示する波長によらず，単波長光直後は α 波帯域率を低下させ，その後は提示前の状態に戻る傾向を示した。また，単波長光直後の α 波帯域率の低下は，458 nm がその他の単波長光に比べ，大きくなる傾向を示した。図 6-3-1，図 6-3-2 の傾向は測定部位 Fz 以外でも同様の傾向を示した。脳活動が沈静しているときは α 波が多く出現し，脳活動が活動的になっているときに β 波が多く出現するという知見から本実験の結果を考察すると， α 波帯域率が負の方向に変化するということは， β 波が α 波よりも多く出現したということとなる。すなわち，暗闇下では，放射照度 3 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の中心波長 458 nm の単波長光を提示すると，中心波長 550 nm や 670 nm の提示よりも脳活動を活性化すると考えられる。今後も引き続き，本実験とは異なる単波長光の波長提示による脳波測定を行い， α 波帯域率の波長依存性について検討していく。

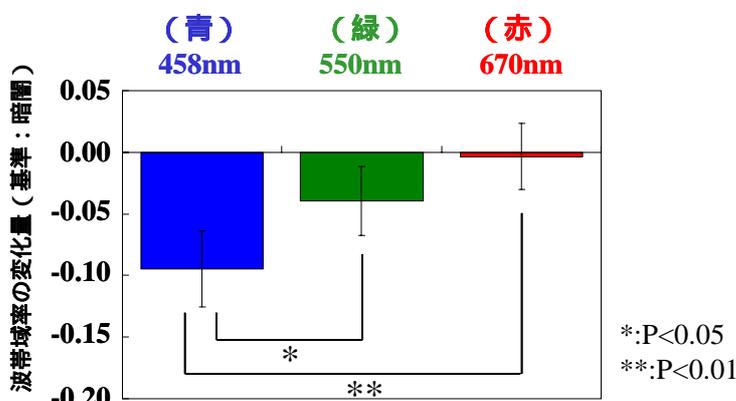


図 6-3-1 単波長光の波長における α 波帯域率の変化量

測定部位：Fz，平均値 \pm 標準誤差

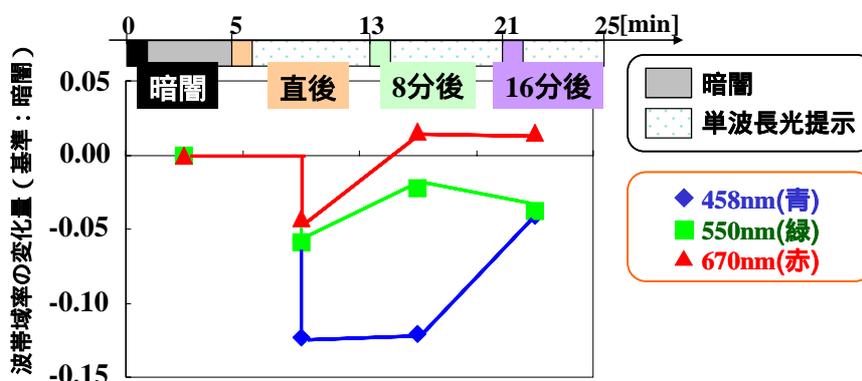


図 6-3-2 α 波帯域率の変化量の時系列変化 測定部位：Fz

(東 洋邦)

参考文献

- (1) 佐藤方彦：快適な室内照明の研究 - 室内気候の影響も含めて，住宅総合研究財団研究年報, 20, pp.305-316 (1993).
- (2) 島上和則：色と癒し - 色光の心理・生理的効果実験から - , 日皮協ジャーナル, 21, pp.47-51 (1998).
- (3) 清水規裕, 齋藤友幸, 福本一郎：色光環境制御による精神疲労低減効果の研究, 長岡技術科学大学研究報告, 25, pp.87-91 (2003).
- (4) Y. Ueda, K. Hayashi, K. Kuroiwa, N. Miyoshi, H. Kashiba and D. Takeda : Consciousness and Recognition of Five Colors -Using Functional-MRI and Brain Wave Measurements-, J Int Soc Life Info Sci, 22, pp.366-371 (2004).
- (5) C. Cajochen, M. Münch, S. Kobiálka, K. Kräuchi, R. Steiner, P. Oelhafen, S. Orgül and A. Wirz-Justice : High Sensitivity of Human Melatonin, Alertness, Thermoregulation, and Heart Rate to Short Wavelength Light, J Clin Endocrinol Metab, 90, pp.1311-1316 (2005).
- (6) M. Münch, S. Kobiálka, R. Steiner, P. Oelhafen, A. Wirz-Justice and C. Cajochen : Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men, Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 290, pp.R1421-R1428 (2006).
- (7) G. Vandewalle, C. Schmidt, G. Albouy, V. Sterpenich, A. Darsaud, G. Rauchs, P. Berken, E. Balteau, C. Degueldre, A. Luxen, P. Maquet and D-J. Dijk : Brain Responses to Violet, Blue, and Green Monochromatic Light Exposures in Humans: Prominent Role of Blue Light and the Brainstem, PLoS ONE, 2, e1247 (2007).
- (8) T. Katsuura, T. Yasuda, Y. Shimomura and K. Iwanaga : Effects of Monochromatic Light on Time Sense for Short Intervals, J Physiol Anthropol, 26, pp.95-100 (2007).
- (9) 李花子, 勝浦哲夫, 岩永光一, 下村義弘, 東洋邦, 一條隆：単波長の光曝露に対する生理反応, 日本生理人類学会誌, 13, pp.75-83 (2008).
- (10) 東洋邦, 一條隆, 勝浦哲夫, 李花子, 高橋良香：単波長光の波長と脳波の関係, 照学全大, p.60 (2006).

6 - 4 . メラトニン分泌抑制効果の定量化

6 - 4 - 1 . はじめに

光環境の設計には主に視覚的な要件を満たすための基準が適用されてきた。しかし、近年、光が生体機能にも影響を及ぼすことが分かってきたことから、生体に及ぼす影響にも配慮した光環境の設計指針が今後、必要になるものと考えられる。本報告では、光が生体へ及ぼす影響のなかで研究が進んでいるメラトニン分泌への影響に関する知見を基に、メラトニン分泌抑制効果を定量化する試みを行った。

Brainard ら¹⁾、Thapan ら²⁾のメラトニン分泌抑制のアクションスペクトル、光強度とメラトニン分泌抑制率の関係式の知見に、瞳孔反射による網膜への到達光量の変化を加味して、瞳孔反射がある環境下におけるメラトニン分泌抑制率を算出することを目的とした。最後に、瞳孔反射のある環境下におけるメラトニン分泌抑制実験の結果と比較することで、今回作成された予測式を評価した。

6 - 4 - 2 . 瞳孔反射がない場合のメラトニン分泌抑制率の算出式

ここでは、散瞳剤を使用し、瞳孔反射がない場合のメラトニン分泌抑制率の算出式を作成するため、Brainard ら¹⁾、Thapan ら²⁾の各種単波長光を用いたメラトニン分泌抑制実験の結果を用いた。

まず、Brainard ら¹⁾、Thapan ら²⁾が報告しているメラトニン分泌抑制のアクションスペクトルを表わす方法について検討した。メラトニン分泌抑制のメカニズムには、複数の光受容器の関与が示唆されることから、単一の光受容器の分光吸収特性（テンプレート）で表す方法¹⁾²⁾ではメラトニン分泌抑制のアクションスペクトルを十分に表わすことができないと考えられる。また、このメカニズムには近年、発見された視物質メラノプシンを含む少数の網膜神経節細胞（ipRGC）⁴⁾が関与していることから、複数の光受容器が関与していると仮定する場合、ipRGC の関与を仮定する必要がある。しかし、ipRGC の分光感度特性はまだ規格化されていないため、ipRGC の関与を考慮して、メカニズムを仮定することは難

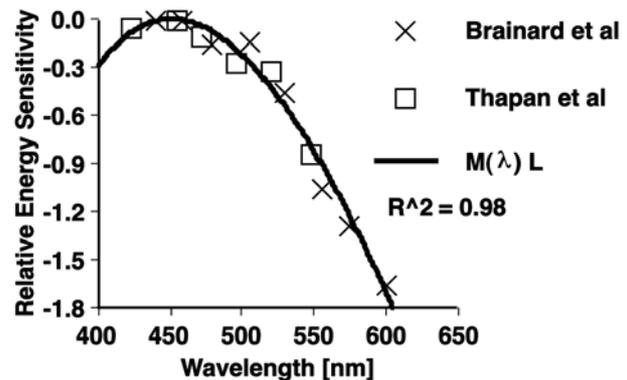


図 6-4-1 メラトニン分泌抑制のアクションスペクトル¹⁾²⁾とその近似式

$$M(\lambda)L = -1.112 \cdot 10^2 \cdot t^2 - 6.574 \cdot 10^{-4} \cdot t$$

$$t = \log(\lambda/451)$$

$$MS_{\text{const } t} = \frac{0 - 66.9}{1 + [E/(\alpha \cdot 37.8)]^{1.27}} + 66.9$$

$$\alpha = \frac{\int_{380}^{780} P_r(\lambda) M(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} P_r(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \bigg/ \frac{\int_{380}^{780} P_t(\lambda) M(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} P_t(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

しい．そこで，本報告ではメラトニン分泌抑制のアクションスペクトルを 2 次多項式による近似式で表した（図 6-4-1）．

次に，光強度とメラトニン分泌抑制率の関係は Brainard ら¹⁾の実験結果を基に，ロジスティック関数から作成した MS_{constant} は瞳孔径が散瞳したときのメラトニン分泌抑制率， E は照度， A_1 はメラトニン分泌抑制率の最小値， A_2 はメラトニン分泌抑制率の最大値， p は A_1 と A_2 の間の勾配， E_{50} は A_1 と A_2 の中間の反応量のときの照度， α はメラトニン分泌抑制係数である． $P_r(\lambda)$ は CIE 標準の光 A の分光分布， $P_t(\lambda)$ はテスト光源の分光分布， $M(\lambda)$ は縦軸を線形で表したときのメラトニン分泌抑制の分光感度， $V(\lambda)$ は分光視感効率である．

Brainard ら¹⁾の実験より $A_1 (=0)$ ， $A_2 (=66.9)$ ， $p (=1.27)$ は光源によらず一定であった． E_{50} は光源によって変化し，CIE 標準の光 A を使った時，37.8 になる． α は任意の光源の E_{50} を求めるための係数であり，CIE 標準の光 A より低照度で同等のメラトニン分泌抑制が起こる時， α は 1 未満になり，CIE 標準の光 A より高照度で同等のメラトニン分泌抑制が起こる時， α は 1 を超える値になる．メラトニン抑制係数 α の逆数をメラトニン抑制指数 β とした． β は各種光源のメラトニン抑制効果の大小を比較するための指数で，値が大きいほど，メラトニン分泌抑制が起こりやすい光源といえる．

6 - 4 - 3 . 瞳孔反射がある場合のメラトニン分泌抑制率の算出式

瞳孔反射がある場合のメラトニン分泌抑制率を算出にあたって，“瞳孔面積”と“メラトニン分泌抑制のアクションスペクトルを使った測光量”の積からメラトニン分泌抑制率が求まると仮定した．瞳孔径は Stanley ら⁵⁾の関係式から求めることができる． D_{stanley} は瞳孔径(mm)， F は角膜束密度($\text{cd}/\text{m}^2 \text{ deg}^2$)で，輝度と視角の二乗から算出される値である．瞳孔径は杆体の分光感度によって調節されるため⁶⁾，入力には杆体の分光感度を使った暗所視照度を入力する必要がある．Stanley らは暗所視照度と明所視照度の比が 2 (= 暗所視照度 / 明所視照度) になる光源

$$D_{\text{stanley}} = 7.75 - 5.75 \left[\frac{(F/846)^{0.41}}{(F/846)^{0.41} + 2} \right]$$

$$D_{\text{modify}} = \frac{2 - 7.75}{1 + (E'/2.11)^{-0.401}} + 7.75$$

$$E' = K'_m \int_{380}^{780} P_t(\lambda) V'(\lambda) d\lambda$$

$$K'_m = 1700$$

$$MS_{\text{variable}} = \frac{0 - 66.9}{1 + \left[\frac{(A \cdot E)}{(A_{\text{fix}} \cdot \alpha \cdot 37.8)} \right]^{1.27}} + 66.9$$

$$A = D_{\text{modify}}^2 \cdot \pi / 4$$

$$A_{\text{fix}} = 7.19^2 \cdot \pi / 4$$

を実験で使っていた．Stanley らの輝度と視角の二乗を入力して瞳孔径を算出する式を，輝度と視角から照度が換算できることから，暗所視照度を入力して瞳孔径を算出する式に変換した． D_{modify} は瞳孔径(mm)， E' は暗所視照度(scotopic lx)， $P_t(\lambda)$ はテスト光源の分光放射照度， $V'(\lambda)$ は暗所視の分光視感効率である．この式を使うことで，暗所視照度 E' (scotopic lx) を入力し，瞳孔径 D_{modify} (mm) が出力される． MS_{variable} は自然な瞳孔反射があ

時のメラトニン分泌抑制率， A は瞳孔面積(mm^2)， E は照度， A_{fix} は Brainard らの実験時における散瞳状態の時の瞳孔面積(mm^2)である。

6 - 4 - 4 . モデルの検証

今回作成された瞳孔反射がある時のメラトニン分泌抑制率の算出式と瞳孔反射がある時のメラトニン分泌抑制実験の結果を比較した。比較には Aoki らの実験結果⁷⁾を用いた。Aoki ら⁷⁾は普通白色蛍光ランプを用いて，500，1000，2500，5000 lx の照度でメラトニン分泌抑制実験を行った。図 6-4-2 に予測結果と実際の実験結果を示す。瞳孔反射がない場合のメラトニン分泌抑制率は実線，瞳孔反射がある場合のメラトニン分泌抑制率は点線，Aoki らの実験結果は白抜き丸()である。

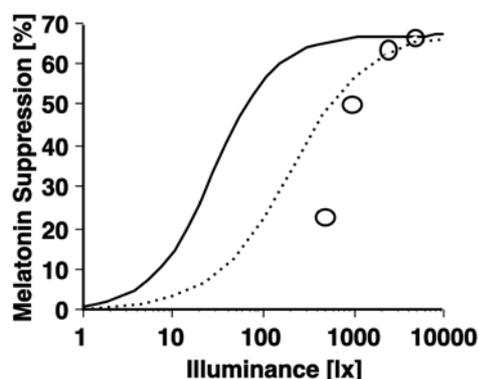


図 6-4-2 メラトニン分泌抑制の実験結果 []⁷⁾と予測結果[実線：瞳孔反射がない時，点線：瞳孔反射がある時]

瞳孔反射がある場合のメラトニン分泌抑制率は瞳孔反射を考慮することで，瞳孔反射を考慮しない

場合よりも実際の実験結果にかなり近い予測をすることが分かった。瞳孔反射を考慮した場合のメラトニン分泌抑制率の結果は，照度の値が高く，メラトニン分泌抑制率が最大値付近では実際の実験結果をほぼ予測することができていた。しかし，メラトニン分泌抑制率が中程度以下の時は，実際の実験結果よりも大きめの値を予測していた。

光の強さとメラトニン分泌抑制率の間の勾配 p に注目すると，Brainard ら¹⁾の実験では勾配 $p=1.27$ (瞳孔反射なし，単波長光曝露)であり，瞳孔反射を考慮すると，勾配 $p=1.04$ (瞳孔反射あり，単波長光曝露)と勾配が緩やかになった。しかし，Aoki ら⁷⁾の実験では勾配 $p=2.52$ (瞳孔反射あり，広帯域光曝露)と勾配が急だった。このことから，Brainard ら¹⁾の実験結果に瞳孔反射の効果を考慮しても，瞳孔反射ありのときのメラトニン分泌抑制率を予測することはできないといえる。以上より，単波長光を用いて得られた知見に瞳孔反射の効果を考慮しても広帯域光を用いた場合のメラトニン分泌抑制率を表すことができず，メラトニン分泌抑制率が中程度以下の時に一致が良くないことが分かった。広帯域光は単波長光と分光分布が大きく異なることから，不一致の原因として分光分布形状の違いが考えられる。広帯域光を使った時にメラトニン分泌抑制率が減少するようなメカニズムがあるかは今後の更なる調査が必要になるだろう。

6 - 4 - 5 . まとめ

本報告では以下の成果を得た。(1)Brainard ら，Thapan らが報告しているメラトニン分泌抑制のアクションスペクトルを近似する多項式を作成した。(2)各種光源のメラトニン分泌抑制効果の大小を比較することができるメラトニン分泌抑制指数 β という指標を提案

した。(3)実環境への適用に当たっては、瞳孔反射のほかにも検討すべき要素があることが示唆された。

(高橋 良香)

参考文献

- (1) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner and M. D. Rollag : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J Neurosci*, 21, pp.6405-6412 (2001).
- (2) K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene : An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *J Physiol*, 535, pp.261-267 (2001).
- (3) S. Panda, I. Provencio, D. C. Tu, S. S. Pires, M. D. Rollag, A. M. Castrucci, M. T. Pletcher, T. K. Sato, T. Wiltshire, M. Andahazy, S. A. Kay, R. N. Van Gelder and J. B. Hogenesch : Melatonin is required for non-image-forming photic responses in blind mice, *Science*, 301, pp.525-527 (2003).
- (4) D. M. Berson, F. A. Dunn and M. Takao : Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, *Science*, 295, pp.1070-1073 (2002).
- (5) P. A. Stanley and A. K. Davies : The effect of field of view size on steady-state pupil diameter, *Ophthalmic Physiol Opt*, 15, pp.601-603 (1995).
- (6) I. H. Wagman and J. E. Gullberg : The relationship between monochromatic light and pupil diameter. The low intensity visibility curve as measured by pupillary measurements, *Am J Physiol*, 137, pp.769-778 (1942).
- (7) H. Aoki, N. Yamada, Y. Ozaki, H. Yamane and N. Kato : Minimum light intensity required to suppress nocturnal melatonin concentration in human saliva, *Neurosci Lett*, 252, pp.91-94 (1998).

6 - 5 . サーカディアンリズムへの作用定量化を目的とした広ダイナミックレンジカメラの検討

6 - 5 - 1 . はじめに

メラトニンの分泌は、外界の光によって抑制され、サーカディアンリズムと生体リズムの同期に寄与していることが知られている。光に対するメラトニン分泌抑制の分光感度は、従来の光受容体感度と異なり、およそ 460 nm 付近にピークを持つ感度であることが明らかになった¹⁾⁻³⁾(図 6-5-1)。また、視野の上側⁴⁾や鼻側⁵⁾の光源が有意にメラトニン分泌を抑制することも報告されている。このことから、光環境がメラトニン分泌ひいては生体リズムに与える影響を評価するには、視野内の光強度分布をメラトニン分泌抑制感度の特性を持つ光検出器で測定することが必要と考えられる。しかしながら、メラトニン分泌抑制感度を持つ光検出器は現存せず、その測定・評価方法も確立されていない。本研究では、光環境の輝度分布計測と同時に、メラトニン分泌抑制感度での光強度分布を計測する画像計測システムを開発した。また、メラトニン分泌抑制感度において計測された光強度については、その測光量が定義されていないため、標準の光の輝度を基準としてメラトニン分泌抑制光強度を定義し、計測、評価を行った。

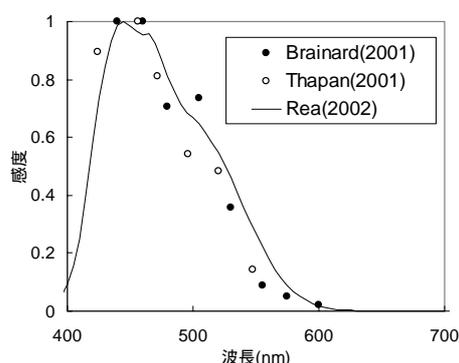


図 6-5-1 メラトニン分泌抑制感度

6 - 5 - 2 . 計測システムの開発⁶⁾

今回の計測では、室内の反射光から屋外からの入射光など広い輝度範囲での測定を行うため、約 10^6 階調での光強度計測が可能な C-MOS 広ダイナミックレンジカメラ⁷⁾を利用した。光環境を分光視感効率、メラトニン分泌抑制感度の 2 つの感度を実現するために、図 6-5-2 に示すような光学フィルタを切り替えることでカメラの分光感度を変更することとした。使用する 2 種類の光学フィルタについては、広ダイナミックレンジカメラ素子の分光感度のデータに基づいて分光視感効率とメラトニン分泌抑制感度を実現する分光透過率を算出し、その分光透過率を持つ光学フィルタを誘電体多層膜を用いて製作した。図 6-5-4 に作成した分光視感効率フィルタとメラトニン分泌抑制感度フィルタを装着したときのカメラの分光感度を示す。

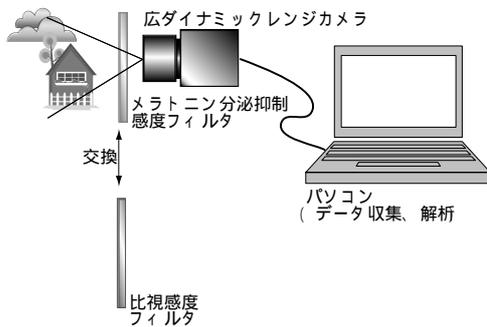


図 6-5-2 開発したシステム概要

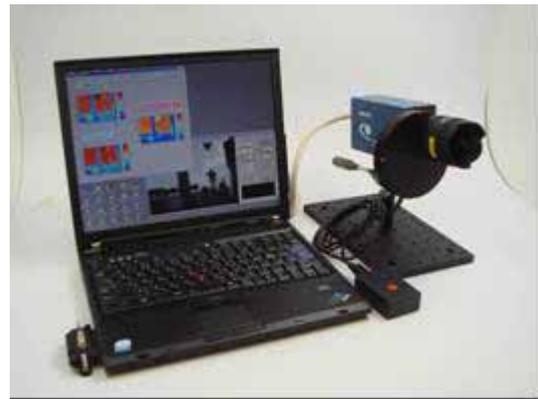


図 6-5-3 システム概観

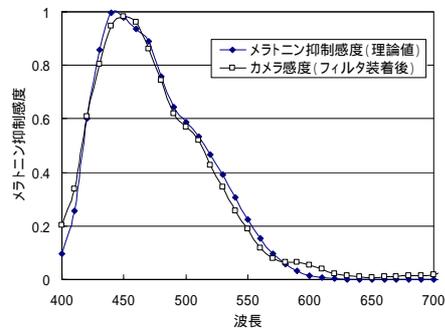
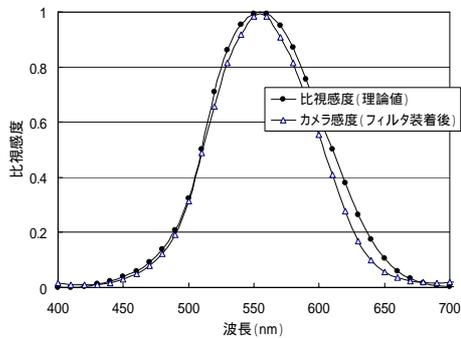


図 6-5-4 分光視感効率フィルタ (左) と、メラトニン分泌抑制感度フィルタ (右) を装着したときのカメラの撮像感度

6 - 5 - 3 . 標準の光を基準としたメラトニン分泌抑制感度での光強度の定義

メラトニン分泌抑制感度で光強度については、現在のところ、その測光量が定義されていない。図 6-5-4 に示したカメラの分光感度は規格された値であり、感度の絶対値は用いる撮像素子や光学系によって異なる。そのため、測定された値を何らかの基準を持って測光量として定義し、計測システムのキャリブレーション等を行う必要がある。そこで、今回は、国際照明委員会が定める標準の光 A (JIS Z 8720) を分光視感効率で測定したときの光強度 (輝度) とメラトニン分泌抑制感度で測定した光強度が等しくなるという仮定をおき、メラトニン分泌抑制感度での光強度の値を以下のように定義した。輝度の定義に習い、メラトニン分泌抑制感度での光強度を

$$M = Kc \int Le(\lambda)C(\lambda)d\lambda$$

と定義する。ここで、 Le は分光放射輝度、 $C(\lambda)$ はメラトニン分泌抑制感度関数を示す。 Kc は最大視感効果度 Km に相当する値である。この Kc は定義されていないため、今回、標準の光 A の輝度とメラトニン分泌抑制感度での光強度が等しくなることを条件とし、次式で Kc を定義した。

$$Kc = \frac{Km \int L_{eA}(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int L_{eA}(\lambda)C(\lambda)d\lambda}$$

ここで、 L_{eA} は標準の光 A の分光放射輝度、 $V(\lambda)$ は分光視感効率である。このようにメラトニン分泌抑制感度での光強度を定義すれば、標準の光 A の光源をメラトニン分泌抑制感度フィルタを通して測定した時の値を、その光源の輝度に等しくなるよう較正することでメラトニン分泌抑制感度での光強度を絶対値として計測することが可能となる。

6 - 5 - 4 . 計測結果

開発したシステムにより計測した結果を図 6-5-5、図 6-5-6 に示す。図 6-5-5 において、(a)、(b)は計測した部屋の概観写真である。(a)は壁が白色の部屋、(b)は(a)と同じ寸法、同じ照明で壁と床の素材にヒノキを用いている部屋である。(c)、(d)は(a)、(b)の部屋をメラトニン分泌抑制感度で計測した結果を示す。(c)の測定値の最大は 80、(d)の測定値の最大は 25 であった。これは、それぞれ 80 cd/m²、25 cd/m² の標準の光 A をメラトニン分泌抑制感度で計測した時の光強度と同じ強度であることを示す。(c)、(d)の計測結果から、同じ寸法、同じ照明であっても壁と床の素材が異なることで、視野におけるメラトニン分泌抑制感度での光強度が異なり、壁の素材や分光反射率が生体リズムに影響を与える可能性があることを示唆する。

図 6-5-6 は、開発したシステムを用いて高齢者施設の共同生活室を測定した輝度画像とメラトニン分泌抑制感度での光強度画像である。広ダイナミックレンジカメラを用いたことで室内の暗所から屋外の光まで計測信号が飽和することなく計測できていることが確認できた。標準の光 A を基準にしているため、標準の光 A よりメラトニン分泌抑制波長成分の多い光源は図(a)と比較して図(b)で高い値を示す。特に、高窓から入射する天空光が、図中(a)と比較して(b)で高い値を示しており、この計測結果の中ではメラトニン分泌抑制波長成分の多い光源になっていることが分かる。また、図(c)に図(b)と図(a)の差の結果を示す。図(c)の結果から、標準の光 A を基準として、輝度に影響する波長成分よりメラトニン分泌抑制に影響する波長成分が多い光源と少ない光源が分かる。この結果から、生体リズムに影響の大きい光(光源)特定し、光環境の評価・検討が可能になると考えられる。例えば、この図(c)の結果から、撮影した光環境下でメラトニン分泌抑制波長成分を上げるには、(1)メラトニン分泌抑制波長成分の多い高窓からの外光を増やす(明るさも増大)、(2)メラトニン分泌抑制波長成分の少ないペンダント照明をメラトニン分泌抑制光成分の高い光源に変更する(室内の明るさを増すことなく変更可能)、の 2 つの改善案が考えられる。以上のように、本計測システムを用いることで、輝度とメラトニン分泌抑制の 2 つの側面から照明環境を計測、評価することが可能になると考えられる。

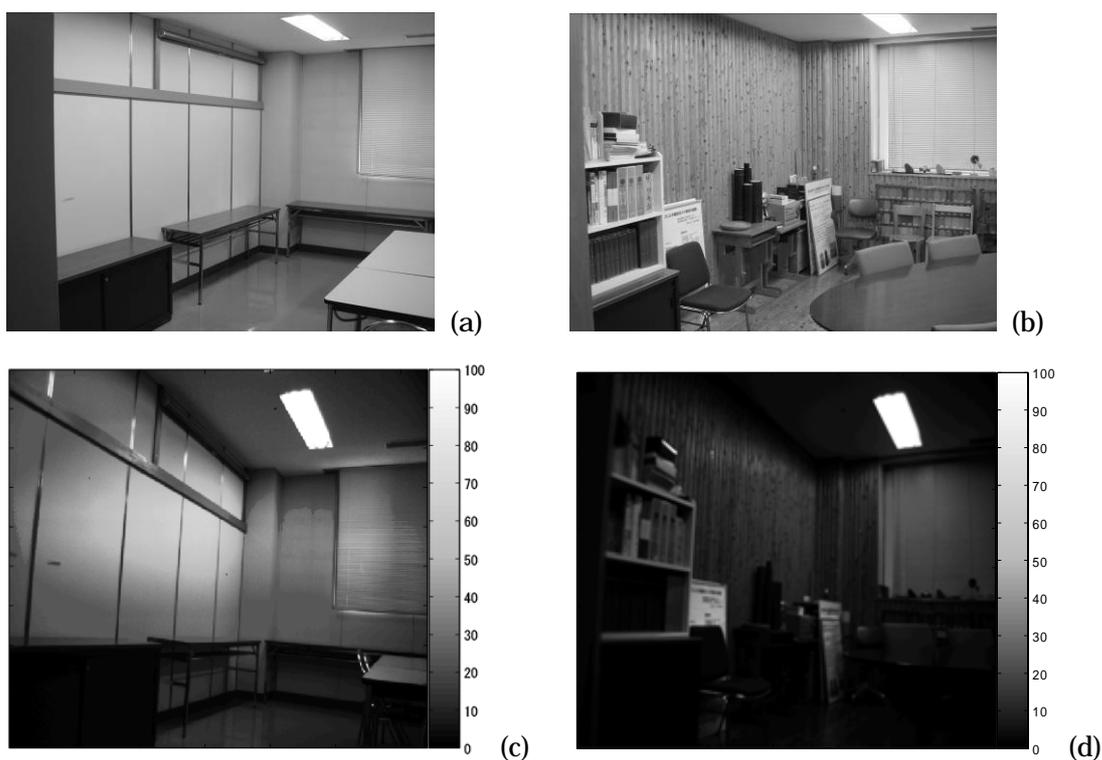


図 6-5-5 同じ照明環境で壁と床の材質が異なる部屋での
メラトニン分泌抑制感度での光強度の計測結果。

(a)：部屋の概観写真。(b)：(a)の部屋と同じ寸法・照明で壁がヒノキの部屋。
(c),(d)：(a),(b)の部屋をメラトニン分泌抑制感度で計測した結果。

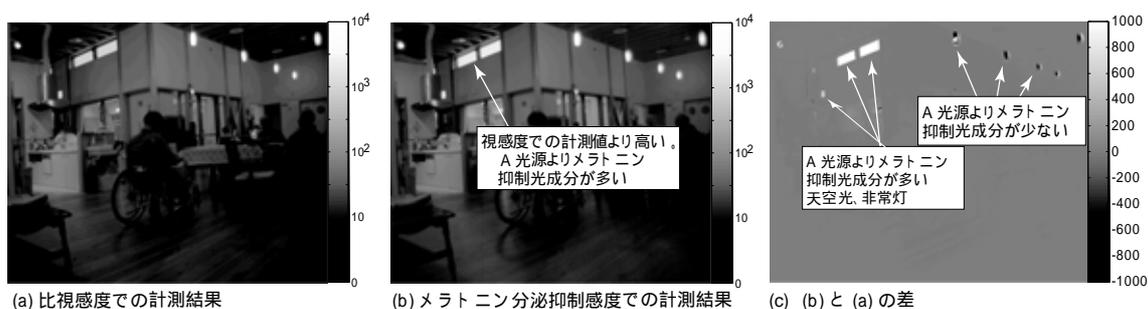


図 6-5-6 高齢者施設の計測結果

(単位は cd/m^2 ，メラトニン分泌抑制光感度での計測値は A 光源を基準とした輝度換算)

6 - 5 - 5 . まとめ

広ダイナミックレンジカメラを用い撮影する際に光学フィルタを変更することで，メラトニン分泌抑制感度と分光視感効率の両者での光環境を計測するシステムを開発した．メラトニン分泌抑制感度での光強度について，標準の光 A の輝度を基準としてその光強度を定義し光環境の定量評価を行った．メラトニン分泌抑制感度と分光視感効率で室内環境を

計測し，その光強度計測結果から光環境の改善が検討可能なことを確認した．

なお，本研究は静岡県プロジェクト研究「人間-住環境評価システムの構築と快適な高齢者施設の提案」の一環として実施した．また，広ダイナミックレンジカメラに関しては静岡大学電子工学研究科，川人祥二教授の協力を得た．ここに記して感謝の意を表す．

(鈴木 敬明)

参考文献

- (1) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner and M. D. Rollag : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J Neurosci*, 21, pp.6405-6412 (2001).
- (2) K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene : An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *J Physiol*, 535, pp.261-267 (2001).
- (3) M. S. Rea, J. D. Bullough and M. G. Figueiro : Phototransduction for human melatonin suppression, *J Pineal Res*, 32, pp.209-213 (2002).
- (4) G. Glickman, J. P. Hanifin, M. D. Rollag, J. Wan, H. Cooper and G. C. Brainard : Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans, *J Biol Rhythms*, 18, pp.71-79 (2003).
- (5) E. K. Visser, D. G. Beersma and S. Daan : Melatonin suppression by light in humans is maximal when the nasal part of the retina is illuminated, *J Biol Rhythms*, 14, pp.116-121 (1999).
- (6) 鈴木，岡田，易，櫻川，太田，川人：広ダイナミックレンジカメラを用いた，メラトニン分泌抑制波長感度での照明環境計測，照明学会東京支部大会，p12 (2007) .
- (7) M. Mase, S. Kawahito, M. Sasaki, Y. Wakamori and M. Furuta : A wide dynamic range CMOS image sensor with multiple exposure-time signal outputs and 12-bit column-parallel cyclic A/D converters, *IEEE J Solid-State Circuits*, 40, pp.2787-2795 (2005).
- (8) 鈴木，岡田，易，櫻川，川人：標準の光を基準としたメラトニン分泌抑制光強度の計測，照学全大，p.176 (2008) .

6 - 6 . メラトニン抑制を考慮した視環境評価

6 - 6 - 1 . はじめに

メラトニン抑制を考慮した視環境評価のためには，現在の測光量に用いられる分光視感効率 ($V(\lambda)$) をメラトニン抑制のアクションスペクトルに置き換え，「明るさ」ではなく「メラトニン抑制」に基づいて計算される単位が必要である¹⁾ . 照度計の仕組みと同様に，受光部の光電素子に加える色ガラスフィルタを配置し^{注1)} , 見かけの分光感度をメラトニン抑制アクションスペクトルに近似させた測定器も開発されている²⁾ .

しかし，メラトニンのアクションスペクトルについてはいくつかの提案があり，今後の研究成果に対応できる流動的な考え方の方が現実的である．また，実空間においては，直接単独のランプによる光が目に入ることは少なく，複数の光源からの光が複雑に反射して目に入る．そこで，筆者らは現状でよく使われている照度と色温度を用いて「メラトニン抑制光量」の簡易に推定する式を提案した．この簡易式で照度，色温度のような，目で感覚的にわかる量でメラトニン抑制に基づく量 (circadian effective irradiance) がある程度の精度で予測できる．ここではその指標を用いて，曝露光量を評価した結果を示す．

6 - 6 - 2 . 相関色温度と照度を用いたメラトニン抑制光束簡易推定式³⁾

光束と同様の考え方で，分光視感効率のかわりにメラトニン分泌抑制効果を用いるとメラトニン抑制光束は以下のように表わされる．

$$F_m = k \int I(\lambda) M(\lambda) d\lambda \quad (6-6-1)$$

F_m : メラトニン抑制光束 [ImM] (単位はメラトニンルーメンとする)

$I(\lambda)$: 分光エネルギー [W/nm]

$M(\lambda)$: 相対メラトニン抑制感度 [-]

k : 係数

k を 460nm の単波長光の単位エネルギーあたりの光子数 (2.3×10^{18} [photons/W/sec]) とすれば， F_m は同じメラトニン分泌抑制効果のある 460nm 単波長光の光子数となる．これによって，分光分布が異なる光を「メラトニン分泌抑制効果」の相対的大きさで示すことができる．

さらにこれを簡易に計算する方法として，黒体放射の分光分布を基に黒体 2000K ~ 10000K についてそれぞれのメラトニン抑制光束 (460nm 相当光子数) を算出し，色温度と単位照度あたり単位面積あたりのメラトニン抑制光束 (460nm 相当光子密度のことで以下 DF_m と示す) の関係から，以下の回帰式を求めた．

$$DFm/E = 1.6 \times 10^{-14} \cdot CCT^3 - 7.0 \times 10^{-10} \cdot CCT^2 + 1.1 \times 10^{-5} \cdot CCT - 0.0133 \quad (6-6-2)$$

2000K CCT 10000K

E : 照度 [lx]

CCT : 相関色温度 [K] (2000K ~ 10000K)

この式の実空間への適用性を検討するため、パソコン画面を見た場合に目に入る光と住宅の各空間で目に入る光を対象に、照度と色温度による 6-6-2 式の結果と分光エネルギーからの算出値の比較を行った。

・パソコン画面

背景画面の色は、黒(パソコンの電源を入れていない状態)、白、赤、黄、緑、青の 6 色とし、パソコン作業中に目に入ってくる光としてパソコン画面の正面中央前 30 cm 鉛直面で分光分布を測定した。通常のパソコン使用時を想定して室内照明(白色蛍光灯 4200K)を点灯した。分光分布から求めたメラトニン抑制光束は 6-6-2 式の計算値と近い値を示し、計算値差は-20~0%であった。

・住宅における測定

住宅では目の位置、視点の移動を考慮し、代表点として室内中央、高さ 1 m での水平面において、分光分布と照度・色温度の測定を行った。図 6-6-1 に色温度を用いて簡易式より求めた DFm/E (図中曲線) と分光分布から求めた DFm/E について示す。

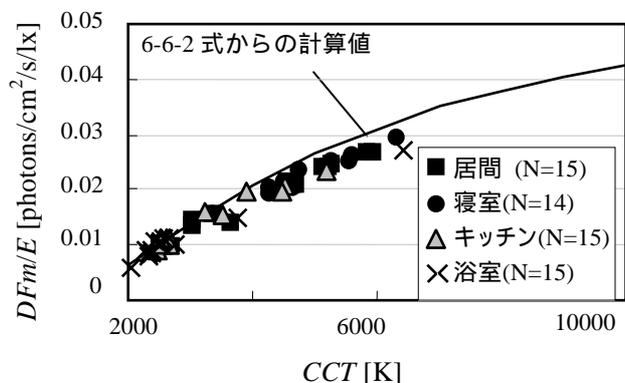


図 6-6-1 DFm/E の測定値と計算値

6 - 6 - 3 . 光の浴び方・睡眠効率調査

光の浴び方と、睡眠効率の関係を検討するために実測調査を行った。

A . 方法

実測調査は 11 月、12 月中の連続した 2 日間行った。被験者は、照度・色温度調査と、睡眠効率測定を行った。2 日間規則正しい生活を送り、実測日の飲酒は控えた。寝室の温湿度の測定も行った。被験者数は 8 名(男性 3 名、女性 5 名、平均 24 歳)であった。

A-1. 光の浴び方調査

色彩照度計 (CL-200, コニカミノルタ) を使用し, 空間が変わるごとに照度と色温度を測定した。測定した値は記録シートに記入し, 併せて測定場所も記した。

A-2. 睡眠効率と活動量・アンケート調査

睡眠効率は活動量計 (Actiwatch-L, Mini-Mitter) (図 6-6-2) によって測定することが可能である。被験者には, 活動量計を非利き腕に, 入浴中以外装着してもらう。睡眠効率は, 光の影響だけでなく, 日中の活動量も睡眠効率に影響を与えていると考えられるので, 昼間の活動量測定とともに, 「朝型」「夜型」が求められるアンケートと, 睡眠感と疲労度が求められるアンケートを行った。



図 6-6-2 活動量計 (写真左)

B. 結果

B-1. 曝露照度と CCT の変化

表 6-6-1 に曝露照度と CCT の測定結果をまとめて示す。積算曝露照度は 8170 lxh から

表 6-6-1 曝露照度と CCT

被験者	日	Ea[lxh]	時間[分]	CCT[K]	被験者	日	Ea[lxh]	時間[分]	CCT[K]
A	1st	23510	992	2610~ 7110	E	1st	18480	1070	2390~7560
A	2nd	29980	960	2620~ 5820	E	2nd	9330	1120	2420~6120
B	1st	9140	1143	2440~10670	F	1st	10180	1020	1900~9900
B	2nd	8170	1175	2450~ 8030	F	2nd	12270	1133	2200~6970
C	1st	10690	1272	2360~ 9950	G	1st	18760	1130	3430~9220
C	2nd	9170	981	2352~ 9000	G	2nd	14540	1150	3400~9000
D	1st	76540	1143	2340~ 7470	H	1st	12260	1155	1900~5880
D	2nd	77810	1047	2360~ 5950	H	2nd	38690	1065	2350~5590

Ea : 積算曝露照度 時間 : 起きている時間 CCT : 最小値

表 6-6-2 曝露照度と CCT (追加測定)

被験者	日	Ea[lxh]	時間[分]	CCT[K]	被験者	日	Ea[lxh]	時間[分]	CCT[K]
G(2)	1st	8520	1103	2420~5750	G(4)	1st	18480	1070	2080~5990
G(2)	2nd	7090	1165	2300~6050	G(4)	2nd	9330	1120	2170~6090
G(3)	1st	81140	1176	2280~5700	H(2)	1st	10180	1020	1910~7304
G(3)	2nd	70000	1166	2100~7450	H(2)	2nd	12270	1133	2080~5890

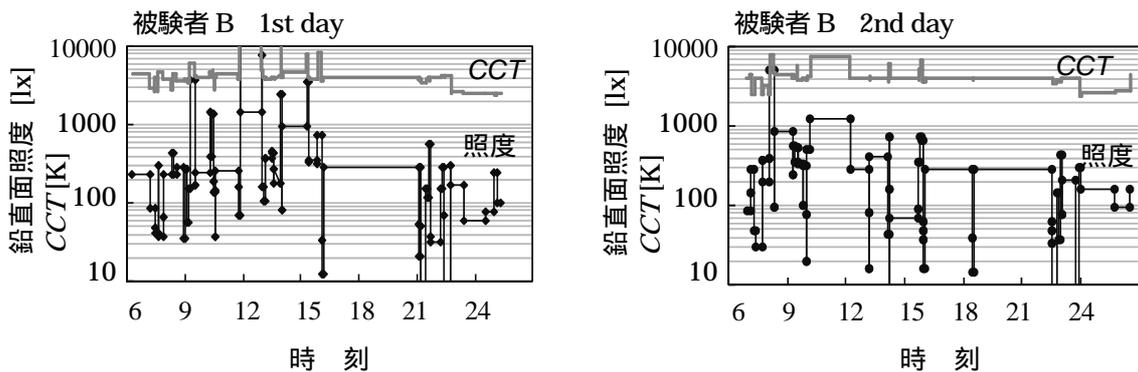


図 6-6-3 曝露照度 CCT の時刻変化 (被験者 B)

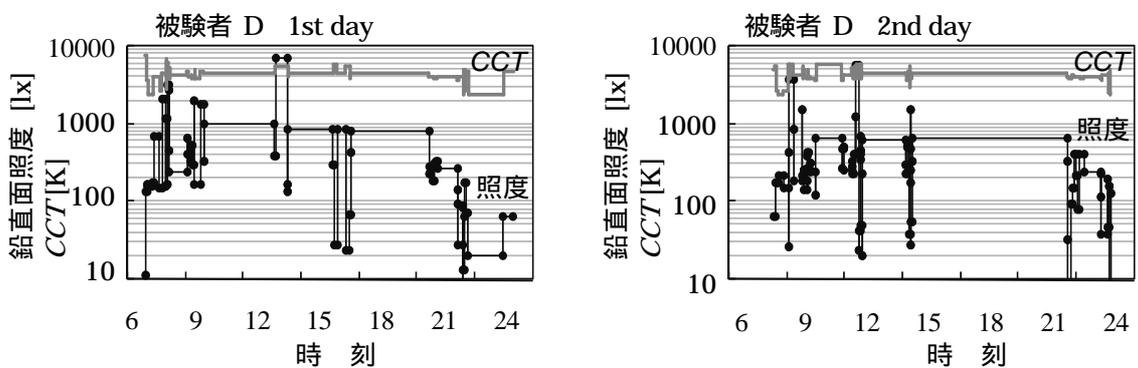


図 6-6-4 曝露照度 CCT の時刻変化 (被験者 D)

77810 lxh までの広い範囲にあり(中央値で 13400 lxh)で CCT はおよそ 2000K から 9000K にあった。また、起きている時間の平均は 18 時間 17 分(睡眠時間が 5 時間 43 分)だった。被験者 G と H は意識的に光環境を変えて追加測定を行った。表 6-6-2 にその結果を示す。積算曝露照度が小さかった被験者 B の照度, CCT の時刻変化を図 6-6-3 に, 積算曝露照度が大きかった被験者 D の照度, CCT の時刻変化を図 6-6-4 に示す。

B-2. 照度と DFm

測定した照度と CCT から 6-6-2 式を用いて DFm を算出した。図 6-6-5 に積算照度と積算 DFm の関係を示す。直線関係がみられ, DFm は主に照度の影響を強く受けることが示された。6-6-2 式および図 6-6-1 からわかるように, DFm は, 照度が x 倍になれば x 倍になり, また CCT が x 倍になったときも概ね x 倍になる。このことから DFm が CCT より照度の影響を強く受けた理由として, 照度の変化の大きさに対して CCT の変化が小さかったこ

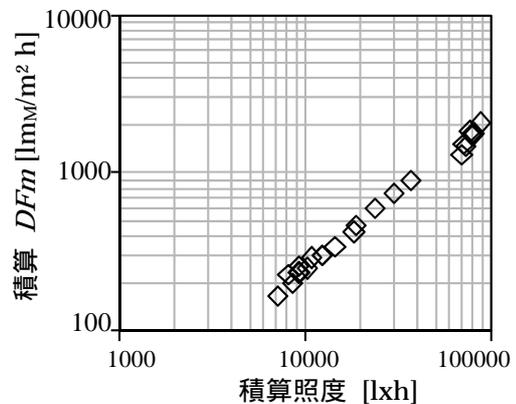


図 6-6-5 積算照度と積算 DFm

とがあげられる．

図 6-6-6 に 2 名の被験者の時刻による累積 DFm を示す．被験者 B は朝に多くの DFm に曝露され，50%をおよそ正午までに浴びている．一方，被験者 D は DFm が直線的に増加しており，ほぼ一定の DFm に曝露されているといえる．

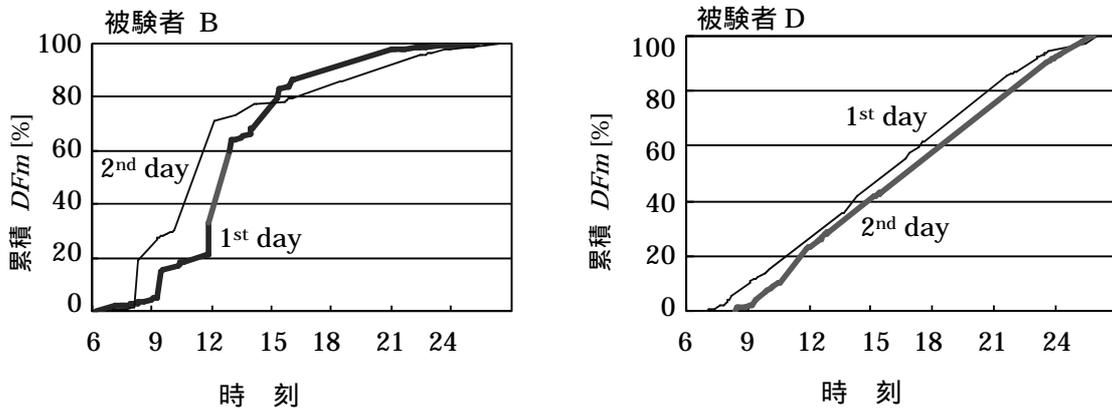


図 6-6-6 累積 DFm

B-3．睡眠効率

活動量計は腕の動きによって合計睡眠時間，睡眠効率，睡眠中の覚醒回数などを測定できる．図 6-6-7 に睡眠効率と覚醒回数の関係を示す．

すべての被験者が，正常範囲とされる 70% 以上の睡眠効率を示している．睡眠効率と覚醒回数の相関係数は-0.68 で，睡眠効率が高いほど覚醒回数が少なくなる傾向にある．

被験者 B の睡眠効率は 1 日目が 91% で 2 日目が 93% ，被験者 D は 89% と 91% だった．このように被験者間の睡眠効率の違いは大きくはない．しかし，覚醒回数で見ると，被験者 B は 1 日目が 9 回，2 日目が 8 回であるのに対し，被験者 D は両日とも 17 回だった．このように，睡眠効率と覚醒回数の関係が常に一致するとも限らない．

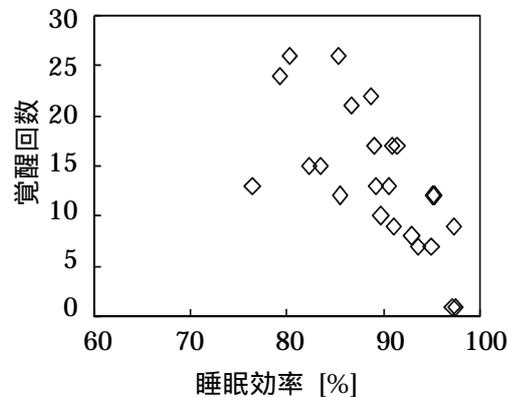


図 6-6-7 睡眠効率と覚醒回数

図 6-6-8 と図 6-6-9 に被験者が就寝前 2 時間に曝露された DFm と睡眠効率の関係，被験者が就寝前 2 時間に曝露された DFm と覚醒回数の関係を，それぞれ示す．色のついたプロットは 4 回測定に参加した被験者 G の結果を示している．就寝前 2 時間の DFm はサンプル間の違いが大きく，二つのグループに分けられる．一つは 10 [lmM/m² h]以下のグループでもう一つが 50 ~ 200 [lmM/m² h]となるグループである．しかし，これらの二つのグループの間には，睡眠効率，あるいは覚醒回数に有意な違いは認められなかった．被験

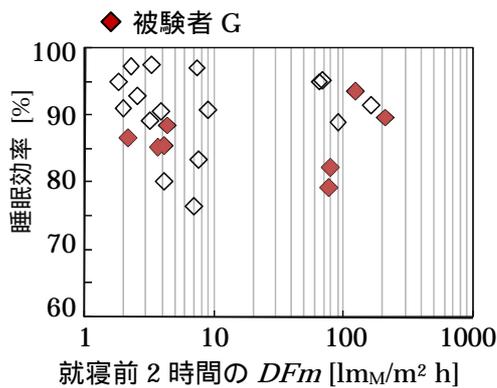


図 6-6-8 就寝前 2 時間の DFm と睡眠効率

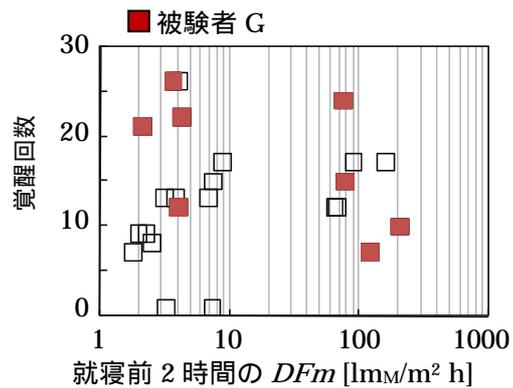


図 6-6-9 就寝前 2 時間の DFm と覚醒回数

者 G は日によって就寝前 2 時間の DFm が異なるがやはり睡眠効率，あるいは覚醒回数に有意な違いは認められなかった．このように，就寝前 2 時間の DFm が睡眠に与える明らかな影響は見られなかった．

図 6-6-10 には起床後 2 時間の DFm と就寝前 2 時間の DFm，および睡眠効率の関係を示す．図 6-6-11 は図 6-6-10 の睡眠効率を覚醒回数に置き換えたものである．色のついたプロットは 4 回測定に参加した被験者 G の結果を示している．被験者 G では，就寝前 2 時間の DFm が起床後 2 時間の DFm より大きい場合に覚醒回数が多くなっている．しかし，全体としては，起床後と就寝前の DFm の比と睡眠効率，あるいは覚醒回数に明らかな関係は得られなかった．

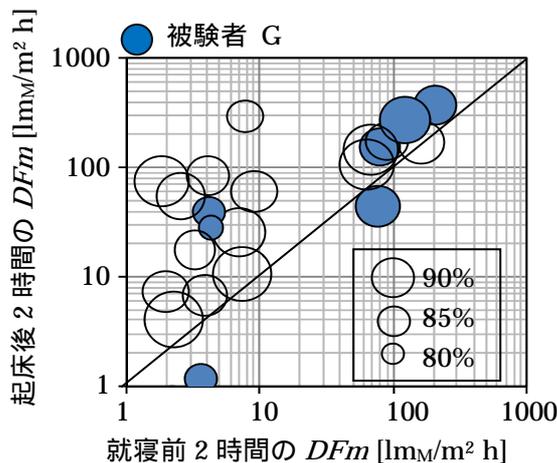


図 6-6-10 起床後 2 時間の DFm と就寝前 2 時間の DFm、および睡眠効率

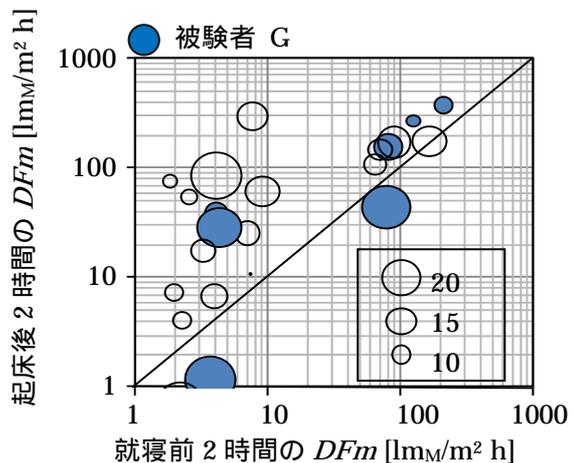


図 6-6-11 起床後 2 時間の DFm と就寝前 2 時間の DFm、および覚醒回数

6 - 6 - 4 . おわりに

照度と色温度を用いた「メラトニン抑制光量」の簡易に推定する式を用いて，被験者の曝露光量を評価した以下のような結果を得た．

・単位面積あたりのメラトニン抑制光束(DF_m)は、色温度の変動幅と比較して照度の変動幅が大きいため、照度の影響を強く受けていた。

・光の曝露パターンによる睡眠への影響は、実験室実験や意識的に大量の光曝露を行う現場実験では確認されているが⁴⁾、本研究では明らかにされなかった。その原因として、全被験者が健康的で正常な睡眠をとれていたこと、また、積算曝露照度は7000～87000 lxhと差があったが、全被験者の光曝露状態も正常範囲であったことがあげられた。

注 1)

照度計では光電素子としてシリコンフォトダイオード (SPD) を使用することが多いが、SPD の分光感度は $V(\lambda)$ とは異なるので、通常は前面に色ガラスフィルタを配置し、式 (6-6-3) のように見かけの分光感度を $V(\lambda)$ に近似させている。

$$\tau(\lambda) s(\lambda) \quad V(\lambda) \quad (6-6-3)$$

$\tau(\lambda)$: 色ガラスフィルタの分光透過率 (-)

$V(\lambda)$: 分光視感効率 (-) $s(\lambda)$: SPD の分光感度 (-)

(岩田 利枝)

参考文献

- (1) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner and M. D. Rollag : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J Neurosci*, 21, pp.6405-6412 (2001).
- (2) D. Kockott, H. Piazena and R. Sippel : Measurement of circadian effective radiation of natural and artificial sources, *Proceedings of Lux Europa*, pp.38-39 (2005).
- (3) 久保田, 岩田 : 生体リズムを考慮した光環境評価, *建学環論*, 596, pp.15-20 (2005).
- (4) T. Partonen and J. Lönnqvist : Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people, *J Affect Disord*, 57, pp.55-61 (2000).

本節は以下の論文から抜粋・修正したものである。

T. Iwata, D. Itoh and E. Mochizuki : Evaluation of exposed light based on action spectrum for melatonin regulation, *Proceedings of 11th International conference on indoor air quality and climate*, Paper ID 698 (2008).

6 - 7 . 夜間の屋内照明とメラトニン分泌

6 - 7 - 1 . はじめに

睡眠と深く関連していると考えられているホルモンであるメラトニンは、夜間に集中的に分泌されるが、受光により即効的に抑制される。ヒトにおける光によるメラトニン分泌抑制を最初に報告した Lewy ら¹⁾の研究では、深夜に 2 時間の光曝露を行い、2500 lx の照射条件で 500 lx 条件と比較して顕著なメラトニン分泌抑制が生じたことを示している。このことから当時は、ヒトにおいても光によるメラトニン分泌抑制や生体リズムへの作用が生じるが、他の哺乳類と比べるとその感度は低く、よって、夜間の室内における生活照明レベルでの影響は考えにくいとされていた。しかしその後、実験プロトコルの工夫や計測装置の発達により計測精度が向上することで、低照度での作用が相次いで報告されている。それらのうち、現在のところ最も低い照度での作用を報告したものの一つに、Zeitzer ら²⁾による研究が挙げられる。

Zeitzer らの実験では、深部体温が最低となる時刻の 6.75 時間前から 6.5 時間にわたる光曝露を行い、メラトニン分泌抑制とリズム位相に対する照度の影響について検討している。その結果、メラトニン分泌抑制は顔面部鉛直面照度 80 ~ 160 lx で生じることを示唆した。これらのデータは、実験室におけるコントロール環境で導出されたものではあるが、比較的低い照度での作用が確認されたことから、実環境における夜間室内照明による作用の可能性が示唆されている。しかしながら上述の曝露時間は一般的な生活時間における深夜から早朝にあたり、日常的な光曝露とは言い難い。そこで著者らは、より日常生活に近い照明条件において、照明光によるメラトニン分泌抑制と低色温度照明によるその作用低減の可能性について検証した。

6 - 7 - 2 . 夜間の低照度光曝露がメラトニン分泌に及ぼす影響

A . 目的

実生活に即した照明条件下において、夜間照明曝露がメラトニン分泌へ及ぼす影響を調べることを目的とし実験を行った。

B . 実験方法

実験は、温湿度を一定の状態にした人工気候室内で行った。実験条件は、3 波長形蛍光灯による 3000K、5000K の照明、及び照明を消灯した Dim の 3 条件で行った。3000K、5000K の条件においては顔面照度が 100 lx となるように室内の照度を設定した。19 時 50 分に被験者を実験室に入室させ、20 ~ 24 時まで上記いずれかの照明条件で光曝露を行い、30 分おきに唾液を採取した。また実験中は視線をできるだけ固定し、顔面照度を一定に保つため、14 インチのディスプレイでビデオを視聴させた。採取した唾液から、ELISA により唾液中のメラトニン濃度を測定した。実験には、健康な男性 6 名 (27 ~ 52 歳、平均

37.3 歳)の被験者が参加した。実験の2日目の就寝時から、就寝起床時刻の調整などの生活調整を実施した。

C. 結果

実験により得られた各条件・時間でのメラトニン濃度の平均値を図 6-7-1 に示す。エラーバーは標準偏差をあらわしている。分散分析の結果、時間、及び照明条件の主効果、さらに、時間と照明条件の交互作用においても有意な差が得られた(それぞれ $p < 0.0001$, $p = 0.037$, 0.0253)。次に、Tukey-Kramer の HSD 検定で条件間の比較を行った結果、Dim 条件と、3000K 及び 5000K の間に有意な差が得られた ($p < 0.01$)。このことから、顔面照度 100 lx 程度の低照度光曝露によっても、メラトニンが抑制されることが示された。

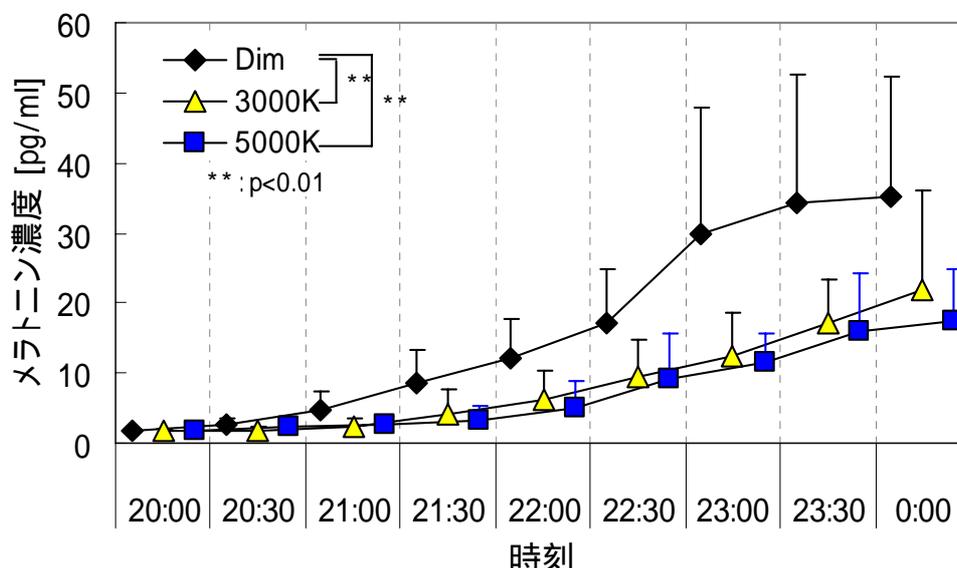


図 6-7-1 各条件・時間でのメラトニン濃度

6 - 7 3 . 就寝前の低色温度光曝露がメラトニン分泌に及ぼす影響

A. 目的

上述の結果から、顔面照度 100 lx の照明レベルであっても、夜間のメラトニン分泌が抑制されることが示唆された。また、深夜 1:00 ~ 2:30 までの光曝露においては、電球色蛍光灯に短波長領域の波長をカットするフィルタを用いることで、メラトニンの分泌抑制効果を軽減できる可能性が示唆されている³⁾。

そこで本研究では、より一般的な就寝前を想定した時間帯における、上述のフィルタ照明の断続的曝露が、メラトニン分泌へ及ぼす影響を調べることを目的とし実験を行った。

B. 実験方法

実験には健康な男性 5 名の被験者が参加した。被験者各自の家庭において評価用の器具を用い、電球色蛍光灯による 3000K 条件と電球色蛍光灯にフィルタを取り付けた状態の 2300K 条件の 2 条件で実験を行った。各条件の照明曝露時間は、毎日 23:30 ~ 24:30 までの 1 時間とし、各条件、日曜日の夜から翌週末の金曜日の夜までの 13 日間を基本実験期間として実験を行った。ただし、被験者により、実験期間・測定日は都合により 1 日程度前後した。各条件での照明曝露は、顔面照度 100 lx に設定し、テレビを視聴することのできるだけ顔面照度を固定した。測定は、条件初日、1 週目の金曜日前後、最終日の 3 日間の 22:00 ~ 24:30 までの 30 分おきにサンプリングした唾液をから、メラトニンの濃度を測定した。

C. 結果

条件初日のデータを start、1 週目の金曜日を 1 week、最終日のデータを 2 week として、それぞれの測定日の 22:00 ~ 24:30 までの 30 分おきのメラトニン濃度の平均値を表したものを図 6-7-2 に示す。エラーバーは標準偏差をあらわしている。分散分析の結果、照明条件および連用期間の有意な主効果 ($F=5.90$, $p=0.02$, および $F=36.1$, $p<0.0001$)、連用期間と条件の有意な交互作用 ($F=7.39$, $p=0.0003$) が得られた。下位検定の結果、連用期間 2 week において、条件間で有意に差があり ($p<0.01$)、またフィルタ条件において、連用期間 2 week と、start もしくは 1 week との間に有意な差が見られた ($p<0.01$, $p<0.05$)。

これらの結果から、就寝前を想定した 1 時間程度の照明光の曝露であっても、電球色蛍光灯よりもさらに低色温度の照明光を 2 週間程度用いることで、抑制されているメラトニンの分泌が回復する可能性が示された。夜間の受光により、メラトニンの分泌抑制に加えてその分泌リズム位相の後退が生じることが知られている²⁾。したがって、曝露の継続により両条件間で差が生じたのは、低色温度化により位相後退作用も低減され、結果的に分泌量が増大したのではないかと推測される。

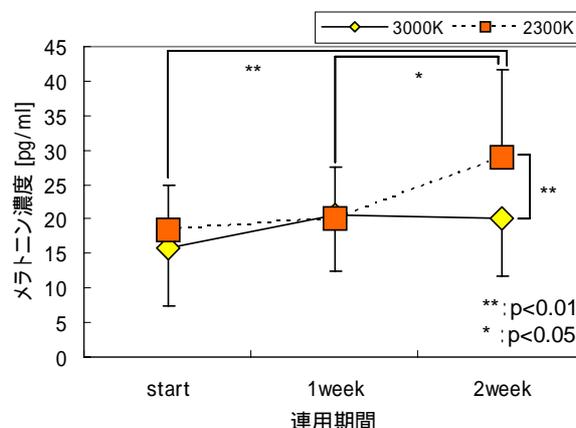


図 6-7-2 各条件・連用期間でのメラトニン濃度

6 - 7 4 . 考察

上述の検討結果から，日常生活における屋内照明でメラトニン分泌抑制が生じている可能性，および低色温度照明の採用によりその作用を低減できる可能性が示唆された．しかし，これらの結果はあくまでも顔面照度 100 lx 一定という照度設定のもとに検証されたものであり，日常生活において実際にどれくらいの照明光を受光しているかについては検討の余地がある．また，経口投与による外因性のメラトニンについて，その服用により生体リズム位相が変化すること⁴⁾や睡眠の維持が促進されること⁵⁾，睡眠感の向上⁶⁾⁷⁾などが報告されていることから，メラトニンと睡眠が深く関連していることは明らかであるものの，受光によるその分泌抑制によって生じる悪影響についてははっきりしていない．したがって，夜間の屋内照明基準等へ本作用を反映させるためには，これらについての十分な検討も行われるべきであろう．

(野口 公喜)

参考文献

- (1) A. J. Lewy, T. A. Wehr, F. K. Goodwin, D. A. Newsome and S. P. Markey : Light suppresses melatonin secretion in humans, *Science*, 210, pp.1267-1269 (1980).
- (2) J. M. Zeitzer, D. J. Dijk, R. Kronauer, E. Brown and C. A. Czeisler : Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression, *J Physiol*, 526, pp.695-702 (2000).
- (3) 古賀, 小崎, 安河内, 戸田, 野口 : 夜間照明の異なる色温度がメラトニン分泌に及ぼす影響, *H19 照学全大*, p.166 (2007).
- (4) L. Kayumov, G. Brown, R. Jindal, K. Buttoo and C. M. Shapiro : A randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study of the effect of exogenous melatonin on delayed sleep phase syndrome, *Psychosom Med*, 63, pp.40-48 (2001).
- (5) J. K. Wyatt, D. J. Dijk, A. Ritz-de Cecco, J. M. Ronda and C. A. Czeisler : Sleep-facilitating effect of exogenous melatonin in healthy young men and women is circadian-phase dependent, *Sleep*, 29, pp.609-18 (2006).
- (6) K. Sadeghniaat-Haghighi, O. Aminian, G. Pouryaghoub and Z. Yazdi : Efficacy and hypnotic effects of melatonin in shift-work nurses: double-blind, placebo-controlled crossover trial, *J Circadian Rhythms*, 6-10 (2008).
- (7) A. Suhner, P. Schlagenhauf, R. Johnson, A. Tschopp and R. Steffen : Comparative study to determine the optimal melatonin dosage form for the alleviation of jet lag, *Chronobiol Int*, 15, pp.655-666 (1998).

6 - 8 . 日本の夜間屋外における曝露光量の実測調査

6 - 8 - 1 . はじめに

近年，日本の都市部では夜間の過剰な光放射が問題視されている．夜間の積算曝露光量が多いほど，メラトニン分泌量が多くなり，睡眠に悪影響を及ぼすことも指摘されている¹⁾．また，光の生体影響は，曝露光の量だけでなく，分光分布によっても異なることが示されている²⁾³⁾．

室内における曝露光については，設計者あるいは室の利用者自身が，照明の照度，色温度を調整することが可能であるが，夜間の屋外における曝露光については，歩行者自身が曝露光の照度，色温度を各自で調整することは不可能であり，意図しない光環境に曝されることも多い．そこで，本調査では，日本の夜間屋外における光の生体影響を把握することを目的として，歩行中に曝露される光環境の実態調査を行った．

6 - 8 - 2 . 夜間屋外における曝露光量の評価法

光がメラトニン分泌に与える影響の評価法

メラトニン分泌に作用する光の測光量として，メラトニン分泌光束密度 DF_m が式(6-8-1)に示すように，メラトニン分泌の抑制率 MS が，Brainard によるメラトニン分泌曲線³⁾に基づき，式(6-8-2)に示す通り提案されている⁴⁾．

$$DF_m = (1.6 \times 10^{-14} \cdot CCT^3 - 7.0 \times 10^{-10} \cdot CCT^2 + 1.1 \times 10^{-5} \cdot CCT - 0.0133) \cdot E \quad (6-8-1)$$

$$MS = \frac{0 - 66.9}{1 + [DF_m / x_{50}(460)]^{1.27}} + 66.9 \quad (6-8-2)$$

DF_m ：メラトニン分泌光束密度 [-]

MS ：メラトニン分泌の抑制率 [%]

E ：照度 [lx]

CCT ：相関色温度 [K] (2000 CCT 10000)

$x_{50}(460)$ ：460 nm 時の抑制率 50% の光子密度 $\times 10^{12}$ [photons/cm²/s](=4.96)

式(6-8-1)，(6-8-2)によれば，曝露光の照度と相関色温度を測定することで，各環境下でのメラトニン分泌抑制の程度を評価することができる．

夜間屋外における光源の種類

夜間屋外の光環境を形成する主な光源を図 6-8-1 に示す．各光源から放射される光量の特徴は以下の通りである．



図 6-8-1 夜間屋外の光環境を形成する光源

- a. ビルからの漏れ光：建物の用途によって利用時間帯，すなわち照明点灯時間帯が異なる．漏れ光のある時間帯，漏れ光の量は，建物用途により異なる．
- b. 看板照明，c. 街路灯，d. 信号機，f. 自動販売機：各光源が放射する光の量は，点灯中は一定である．測定地域における各光源の点灯時間帯，数によって，光量は決まる．
- e. 車のヘッドライト：測定地域の夜間交通量により曝露光量は決まる．
- g. 夜空：夜空からの放射光束は，天候状態，地上から空に向かって放射される各種光源の上方光束の量によって決まる．

各光源から放射される光量は，各光源の点灯時間帯，個数に依存し，これらはその地域を利用する人口数や建物の用途による．すなわち，夜間歩行中の曝露光量は，用途地域によって異なることが示唆される．

6 - 8 - 3 . 測定方法

実測調査は，表 6-8-1 に示す 3 種類の用途地域について，オフィス街 3 箇所，繁華街 5 箇所，住宅街 2 箇所の計 10 箇所にて行った．

各場所にて，歩行者の目の高さにおける鉛直面照度，相関色温度を色彩照度計（CL-200，コニカミノルタ）を用いて，約 5 分間，1 秒間隔で測定した．測定は雨天時を除いて，晴れまたは曇りの日に行った．図 6-8-2 に測定場所の一例を示す．

また，歩行者の視野内輝度分布を，地上 1.5 m の高さにて，魚眼レンズを装着した CCD カメラによる輝度分布測定システム（COOLPIX 5000，ニコン）により測定した．

表 6-8-1 測定場所

用途地域	測定地点
オフィス街	B1 西新宿（東京）
	B2 東京都庁（東京）
	B3 丸の内（東京）
繁華街	D1 渋谷センター街（東京）
	D2 文化村通り（東京）
	D3 歌舞伎町（東京）
	D4 銀座（東京）
	D5 有楽町（東京）
住宅街	R1 大和市つきみ野（神奈川）
	R2 両国（東京）



B3 丸の内
(オフィス街)



D1 渋谷センター街
(繁華街)

図 6-8-2 測定場所の一例

6 - 8 - 4 . 測定結果

図 6-8-3 に一例として，B1（西新宿，オフィス街），D1（渋谷センター街，繁華街）における目の位置の鉛直面照度，相関色温度の測定結果を示す．黒色太線は B1 の，黒色細線は D1 の鉛直面照度を表す．灰色太線は B1 の，灰色細線は D1 の相関色温度を表す．相関色温度は，2 つの場所で大きな差は見られないが，鉛直面照度は，B1 の方が D1 よりも 10 倍近く高くなっていることがわかる．

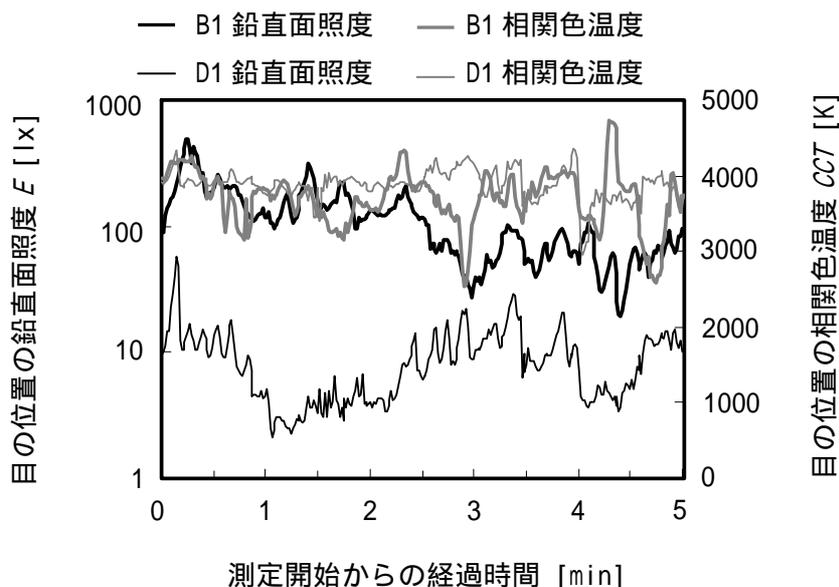


図 6-8-3 B1 と D1 における目の位置の鉛直面照度と相関色温度

表 6-8-2 各測定場所 5 分間の目の位置の鉛直面照度と相関色温度の平均値

用途地域	測定地点	鉛直面照度 E [lx]	相関色温度 CCT [K]
オフィス街	B1	9 (7)	3880 (197)
	B2	14 (17)	4133 (294)
	B3	14 (19)	3260 (713)
繁華街	D1	119 (80)	3695 (375)
	D2	89 (40)	3660 (291)
	D3	141 (99)	3774 (569)
	D4	80 (36)	4147 (463)
	D5	54 (27)	3577 (469)
住宅街	R1	5 (6)	3061 (1270)
	R2	13 (11)	3803 (592)

() 内の数値は偏差を表す

表 6-8-2 に、各測定場所の測定時間中の目の位置の鉛直面照度と相関色温度の平均値を示す。目の位置の相関色温度は、いずれの用途地域でも 3000～4000 K 程度となっており、用途地域による差は小さい。一方、目の位置の鉛直面照度については、繁華街は測定した 5 箇所中 2 箇所平均 100 lx を超えており、残りの 2 箇所も平均で 80 lx を超えていた。

図 6-8-4 に、各場所で測定した目の位置の鉛直面照度と相関色温度から、式(6-8-1)、(6-8-2)を用いて算出したメラトニン分泌の抑制率 MS を示す。オフィス街と住宅街では、メラトニン分泌の抑制率は最大でも 1.8%程度であるが、繁華街については、メラトニン分泌の抑制率が 20%を超える場所もあった。また同じ繁華街でも、目の位置の鉛直面照度の高い場所の方が、メラトニン分泌の抑制率も高くなっていることがわかる。

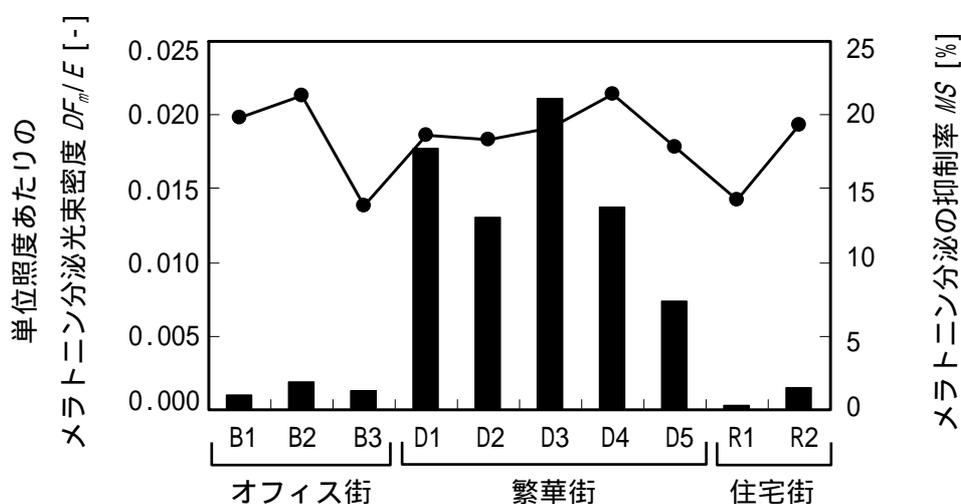


図 6-8-4 各測定地域におけるメラトニン分泌の抑制率

6 - 8 - 5 . ま と め

メラトニン分泌の抑制には、曝露光の照度、相関色温度が関係するが⁴⁾、照度の影響の方が著しく大きいことがわかった。また、曝露光の相関色温度は用途地域による差が小さいが、照度は用途地域によって大きく異なるため、メラトニン分泌の抑制を効率よく抑えるためには、過剰な夜間照度を抑えることが重要と言える。しかし、夜間の安全な歩行環境を保持するためには、照度を単純に低下させることが不可能な場所もある。

図 6-8-5 は、曝露光の照度、相関色温度を変化させたときに、メラトニン分泌の抑制率がどのように変化するかを示したものである。ここでは、D4 を例として検討している。D4 における鉛直面照度は平均 80 lx、相関色温度は平均 4147K であり、このときのメラトニン分泌抑制率は 13.8%となる。同じ色温度で目の位置の鉛直面照度を 50 lx まで下げることによって、メラトニン分泌抑制率は 8.0%まで低減させることができる。一方、照度は維持したまま、同様のメラトニン分泌抑制率の低減を達成したい場合には、相関色温度を 2800K まで下げることによって、同様のメラトニン分泌抑制率低減の効果を得られる。

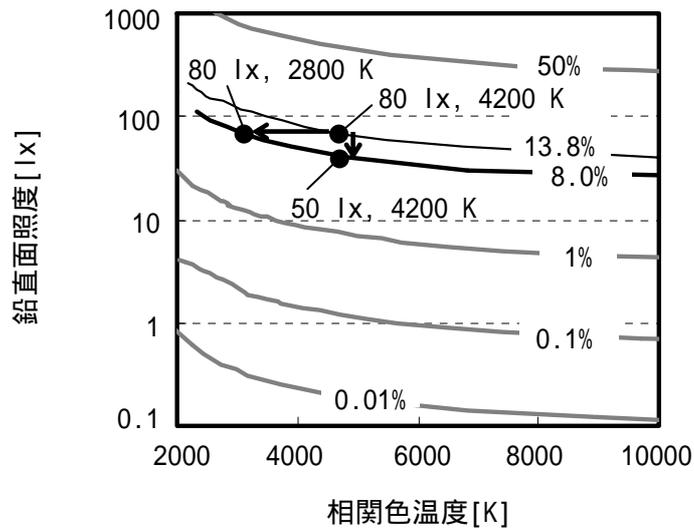


図 6-8-5 照度、色温度によるメラトニン分泌抑制率の低減

安全面を重視し、照度をある一定レベル以上に保ったまま、光源の色温度によりメラトニン分泌の抑制率低減を目指すのか、あるいは省エネルギーを重視し、照度を積極的に下げてメラトニン分泌の抑制率低減を目指すのか、2通りの方法が考えられる。

今後、具体的な対策を講じるに当たっては、以下の点を明らかにする必要があると考える。

(1) メラトニン分泌抑制率の許容限界値

光の各波長とメラトニン分泌の感度の関係については明らかにされてきているが、人間の生体リズムに有意な影響をもたらすメラトニン分泌の絶対量については明らかにされていない。人体への生理影響を考慮した光環境を計画する際、空間の用途に応じて、具体的にメラトニン分泌をどの程度に抑える必要があるのか明らかにする必要がある。

(2) メラトニン分泌抑制に効果的な光源種類の検討

今回の実測調査では、歩行者の目の位置での測定結果を基に対策を検討したが、安全な歩行のために必要な夜間の明るさを保持しつつ、メラトニン分泌抑制率低減のため、照度、色温度を調整するには、具体的にどの光源に対策を講じるのが効果的か、各種光源と歩行者の位置関係を含めて検討する必要がある。

(望月 悦子)

参考文献

- 1) T. Morita, R. Koikawa, K. Ono, Y. Terada, K. Hyun and H. Tokura : Influence of the Amount of Light Received during the Day and Night Times on the Circadian

- Rhythm of Melatonin Secretion in Women Living Diurnally, *Biological Rhythm Research*, 33, pp.271-277 (2002).
- 2) K. Thapan, J. Arendt and D. J. Skene : An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *J Physiol*, 535, pp.261-267 (2001).
 - 3) G. C. Brainard, J. P. Hanifin, J. M. Greeson, B. Byrne, G. Glickman, E. Gerner and M. D. Rollag : Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor, *J Neurosci*, 21, pp.6405-6412 (2001).
 - 4) 久保田, 岩田 : 生体リズムを考慮した光環境評価, *建学環論*, 596, pp.15-20 (2005).

6 - 9 . 生理的影響を超える人体への光作用

6 - 9 - 1 . はじめに

本研究調査員会は光の生理的影響に主眼をおいている。しかし、人体への光による生理的影響は限られており、それ以外の光影響がはるかに大きいと考察される。21世紀は“光の時代”といわれ、医学への光利用でその真価を発揮している。20世紀後半に開発・実用化された様々な光源とこれを使う光技術、コンピュータ画像処理技術の進歩などがさらに進み、医療現場で光が活躍する時代の到来である。ここでは、これまでに実用段階にある光治療とこれからの光診断への期待を簡単にまとめた。

6 - 9 - 2 . 光と人体

“光”は狭義には可視光をさすが、光子の人体への作用効果を論じる場合には、光はX線より長く、電波より短い波長の電磁波 - 紫外光、可視光、赤外光の総称として使われる。光の生体作用を把握するために、主な光源と生体作用および作用波長を図 6-9-1 にまとめた。光の医学利用を考える場合、光の利用法は大きく二つに分けられる。第1は光の照射、つまり光化学反応を利用する治療である。光は生体を反応場として、内在性あるいは外来性分子に吸収され何らかの光化学反応を誘起し、病気治療効果をもたらす。第2は光の診断利用である。光は生体信号のモニターとして使われる。治療を目的とする場合、照射光の生体内侵達度が大きいことおよび無害であることが重要因子となる。人体への光照射は、外面からあるいは光ファイバーなどで人体内面から照射される。この場合、被照射面の波長別の光吸収率、光侵達度等への理解が重要である。光の吸収率は波長に大きく依存する。波長の短い紫外光は表面で吸収されやすく、一方波長の長い可視光・赤外光の内部侵達度は大きい。照射光は生体表面でまず反射、散乱され、拡散されながら内部へ透過吸収される。散乱の度合いは波長が短いほど大きい。これらの光の光学特性は、光をモニターとして利用する場合にも考慮すべき重要因子である。

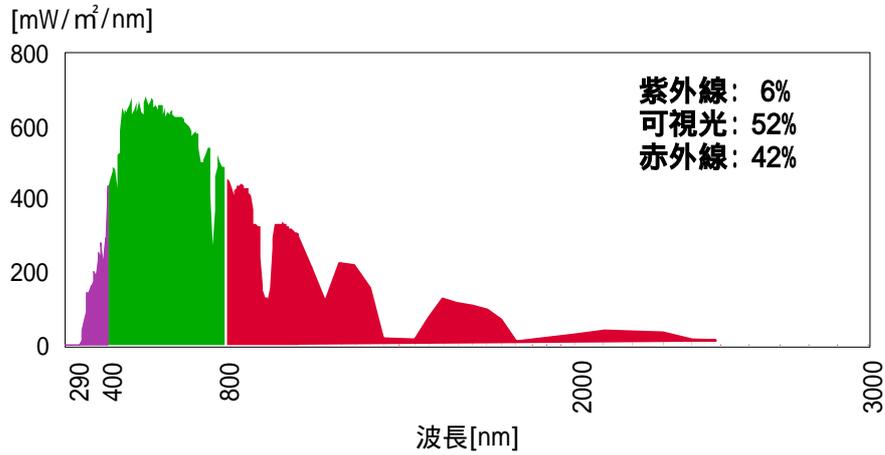
6 - 9 - 3 . 光を利用する治療法¹⁾⁻⁵⁾

光を利用する治療法は表 6-9-1 に示すように大きく3つに分類される。

第1の光療法は光線療法あるいはライトセラピーともよばれ、治療法としては外部から光を照射するだけである。ヒトや動物の急性あるいは慢性病への太陽青色光の有効性が、すでに100年以上前の米国で報告されている⁶⁾。また、1903年には Finsen が真性皮膚結核の紫外線療法でノーベル医学生理学賞を授与されている。その後光療法は民間療法としては継承されていたが画期的といえる発展はなかった。1950年代に入り、新生児黄疸の光療法が開発され光療法は再び注目されることになった。最近では高齢者の睡眠障害や季節性感情障害(冬季うつ病)への高照度光照射療法が実用化され成果を挙げている³⁾。ヒトは朝、目覚めて太陽光や室内光を浴びると、脳内松果体器官によって暗所で血流中に分泌さ

光環境と光の生体作用

地上に届く太陽放射スペクトル



タングステン電球 昼光色蛍光灯 殺菌灯 ブラックライト ナトリウム灯	230 ~ 3000 350 ~ 720 253.7 435.6 546.1 300 ~ 400 589.0-589.6
人間の視覚、生体リズム クロロフィルの光合成 日焼け(サンバーン) 皮膚発ガン ビタミンDの光合成 紫外線殺菌 日光じんましん 皮膚の光毒性反応 皮膚の光アレルギー反応 人体に対する温熱作用 PUVA光化学療法 新生児黄疸光療法	360 ~ 830 400 ~ 700 250 ~ 320 290 ~ 320 250 ~ 315 250 ~ 300 290 ~ 320 320 ~ 400 320 ~ 380 600 ~ 3000 300 ~ 400 500 ~ 700

図 6-9-1 主な光源と生体作用および作用波長

表 6-9-1 光を利用する治療法の分類

Therapy Type	Cure	Action light / Light Source
Phototherapy	Seasonal affective disorder	High brightness white light (2000-10,000 lx)
	Photorefractive keratectomy (PRK) for shortsightedness	193nm: Excimer laser
	Panretinal photocoagulation (PRP) for diabetic etc.	488nm, 514nm: Ar, 647nm: Kr Laser etc.
	Selective photothermolysis for birthmark	2.94nm: Er: YAG Laser
	Neonatal hyperbilirubinemia	400 – 700nm : Fluorescent lamps
Photochemotherapy (PUVA therapy)	Skin Diseases for Psoriasis, Vitiligo, Atopy dermatitis	320 – 400 nm :Blue Black Light lamp
Photodynamic therapy (PDT)	Human Tumors (hematoporphyrin derivative:Hpd)	650nm, 664 nm: Excimer Dye Laser

れるメラトニンの分泌が抑制され 24 時間の生体リズムを整える．高照度照射療法では高齢者やうつ病患者に高照度光を照射し，体内時計を調節する．生体リズムと光との関連については，まさに本委員会の研究調査対象であるからここでは省略する．

第 2 の光化学療法は体外から光感受性物質をとりこませ，この物質が吸収する光を照射して病変細胞に光毒性反応を起こさせて疾患を治療する療法である．照射光には通常皮膚発がんの危険性がないブラックライト（UV-A：320～400 nm）が使われる．光感受性物質には，UV-A 光では決して光アレルギー性反応を起こさず，光毒性反応だけを起こす物質が使用される．この療法の代表例は，PUVA 光化学療法である¹⁾．PUVA は治療薬である光感受性物質ソラレン（Psoralens）の頭文字 P と作用紫外光 UV-A からつくられた造語である．PUVA 療法の適用例は数多いが，尋常性乾癬治療が最も普及している．この皮膚疾患は発病因子が完全には解明されておらず，慢性，難治性，再発性で，患者は日本に 2～3 万人，米国では 200～800 万人と推定されている．PUVA 光化学療法は細胞異常増殖に対して抑制効果があり，古くから使われてきたゲッカーマン療法に代わるクリーンな療法として登場した．PUVA 療法の主反応機構は DNA 複製阻害による表皮細胞の異常増殖抑制と考察される⁷⁾．最近，PUVA 療法も進化し，ソラレンの内服，外用のほか PUVA バスという 3 種類の方法で行われている⁵⁾．乾癬治療に PUVA の代わりにナローバンド UV-B（311±2 nm）のみを照射する光線療法も適用されつつある⁵⁾．

第 3 は PDT（Photodynamic therapy）として知られる光線力学的治療法で，腫瘍細胞に親和性のある感光色素を投与した後，その感光性色素の発する蛍光をモニターとして，病変部を特定しここにレーザー光を照射し腫瘍細胞を選択的に破壊する療法である．代表例は，感光色素ヘマトポルフィリン誘導体（HpD）を用いる PDT で，管腔臓器や体表面

の固形腫瘍 - 肺がん，食道がん，胃がん，膀胱がん等の転移前の早期治療に 8 割を上回る好成績を上げている。

ここでは，光療法の副作用についてはふれなかった。しかし，未成熟な治療法では副作用の解明に到っていないものもある。光の利点を最大限に利用し，かつ副作用のない光療法の確立が望まれている。

6 - 9 - 4 . 光を利用する診断法⁸⁾

光診断の利点は人体の非破壊検査，つまり生体組織の切開，切除のない無侵襲性にある。無侵襲性病気診断は従来から尿中の蛍光性排泄物の同定，肌色や皮膚様相による診断などがある。しかし，いま開発が進められている光診断法は，生体組織や病変組織が発する光信号を実時間画像として提示し診断に使う手法である。細胞のエネルギー状態，特定イオン濃度や特定遺伝子のモニターとなる種々光造影剤，蛍光剤などが開発されつつある。光 CT (Optical Computed Tomography) も今世紀半ばには実用段階に達すると期待される⁵⁾。

6 - 9 - 5 . 光への期待

我々はいま光アンチセンス法の開発研究に着手している⁹⁾。将来，子供は生まれてすぐに DNA シーケンスチェックを受け，疾患 DNA が見つければ光アンチセンス法によって病気を起こさせなくするのが夢の目標である。光は医療現場で，紫外線殺菌ランプ，顕微鏡や分光光度計などをはじめハードウェアとして機能してきた。今後も日進月歩の発展を遂げていくに違いない。加えて，脳研究の近年の展開を考えると，光の人体心理作用，光のソフトウェア的関与が医療現場で徐々に重要視されてくる予感がする。光療法や光診断の一層の発展を期待したい¹⁰⁾。

(佐々木 政子)

参考文献

- (1) 佐々木政子：10.病気も光で治る，光が活躍する(一億人の化学 15)，日本化学会編，大日本図書，pp.203-229 (1993).
- (2) 佐々木政子：最近の光環境の変化，J Jpn Soc Hospital Pharmacists, 30-5, pp.533-546 (1994).
- (3) 三宅養三担当編集委員：第 5 巻 光による医学治療(シリーズ・光が拓く生命科学)，日本光生物学協会編，共立出版 (2000).
- (4) 堀尾武：光皮膚科学 基礎から臨床へ，医薬ジャーナル社 (2006).
- (5) 森田明理，清水宏，宮地良樹編集：1冊でわかる光皮膚科 皮膚科医に必須の Photodermatology (皮膚科サブスペシャリティシリーズ)，文光堂 (2008).
- (6) G. A. J. Pleasonton：Influence of the blue ray of the sunlight and of the blue

- colour of the sky, Philadelphia, Claxton, Remsen & Haffelfinger (1877).
- (7) M. Sasaki, F. Meguro, E. Kumazawa, H. Fujita, H. Kakishima and T. Sakata : Evidence for uptake of 8-methoxypsoralen and 5-methoxypsoralen by cellular nuclei, *Mutat Res*, 197-1, pp.51-58 (1988).
 - (8) 田村守担当編集委員 : 第 6 巻 光による医学診断 (シリーズ・光が拓く生命科学), 日本光生物学協会編, 共立出版 (2001).
 - (9) M. Sasaki, J. Hayashi, M. Fujii, K. Koizumi, H. Fujita, M. Kobayashi, Y. Kawakubo and A. Ito : Neutral liposome-mediated delivery process of fluorescein-modified oligonucleotides in cultured human keratinocytes, *J Photochem Photobiol B*, 60-2-3, pp.120-128 (2001).
 - (10) 光科学研究の最前線編集委員会編 : 光科学研究の最前線, 強光子場科学研究懇親会 (2005).

その他の参考資料

- (1) 佐藤吉昭監修, 市橋正光, 堀尾武編 : 光線過敏症 (改訂第 3 版), 金原出版 (2002).
- (2) シリーズ・光が拓く生命科学 (全 8 巻), 日本光生物学協会編, 共立出版 (1999-2002).
 - 第 1 巻「生物の光環境センサー」(担当編集委員 : 津田基之)
 - 第 2 巻「光環境と生物の進化」(担当編集委員 : 大石正・小野高明)
 - 第 3 巻「生命を支える光」(担当編集委員 : 佐藤公行・和田正三)
 - 第 4 巻「生物の光障害とその防御機構」(担当編集委員 : 市橋正光・佐々木政子)
 - 第 5 巻「光による医学治療」(担当編集委員 : 三宅養三)(上記 3)
 - 第 6 巻「光による医学診断」(担当編集委員 : 田村守)(上記 8)
 - 第 7 巻「生命科学を拓く新しい光技術」(担当編集委員 : 船津高志)
 - 第 8 巻「夢の光 放射光が拓く生命の神秘」(担当編集委員 : 安岡則武・木原裕)
- (3) 照明学会編 : UV と生物産業 UV (紫外放射) の影響と利用, 養賢堂 (1998).
- (4) 黒田保次郎 : 遺伝と光線 (新增補改訂版), 光線研究所 (1976).
- (5) 柳澤堅太郎 : 光線療法 カーボンアーク灯治療 過去・現在・未来像, 自費出版 (2008).
- (6) インテリア産業協会インテリアコーディネートブック編集委員会 : 高齢者のための照明・色彩設計—光と色彩の調和を考える (インテリア・コーディネート・ブック), インテリア産業協会 (1999).
- (7) ジェイコブ・リバーマン, 飯村大助(訳) : 光の医学—光と色がもたらす癒しのメカニズム, 日本教文社 (1996).
- (8) 特集 健康のための光, 照学誌, 93-3 (2009).

7. 関連照明事業調査

現時点で事業化されている光の生体への作用を考慮した光源，照明器具（照明システム）について，WEB による調査を実施した．以下にその結果を示す．

7 - 1 . 光源

商品名	会社名	商品概要	URL
おやすみサポート フィルター (寝室用ブラケット 内蔵)	パナソニック 電工	短波長光カット によるメラトニ ン抑制効果の低 減 .	http://denko.panasonic.biz/Ebox/bedroom/shinshitsubracke/index.html
MASTER TL5 ActiViva	PHILIPS	短波長光増大に よる集中力，パ フォーマンスの 向上 .	http://www.lighting.philips.com/gl_en/country/activiva/index.php?main=global&parent=4390&id=gl_en_country_sites&lang=en
MASTER TL-D ActiViva			
Low Blue Fluorescent Lamps	Lowblueli-ght s(Ronfell Groups)	短波長光カット によるメラトニ ン抑制効果の低 減 .	http://www.sleep lamps.co.uk/products/index.html
Screen Filter Lowblue			
VITA-LITE	USA LS 社	分光分布を自然 光に近づけるこ とにより，動植 物の育成，色あ わせ，視作業ス トレスの軽減， 正常なメラトニ ンリズムの維持 を図る .	http://poesie.hp.infoseek.co.jp/Spiralite.htm
SPIRAL VITA-LITE			
LED Light Glasses	フリンダーズ 大学(オースト ラリア)	青色LED付眼鏡 により，生体リ ズム，時差ぼけ の改善を図る .	http://socsci.flinders.edu.au/psyc/staff/LeonLack/bas.php
Glo pillow	embryo 社	LED 光源内蔵の まくらによって 生体リズムの改 善を図る .	http://www.embryo.ie/glo/

ルピカパワープラチナ	三菱電機オスラム株式会社	サンセットホワイト色(2500K), ナチュラルホワイト色(5800K), およびスーパークリア色(8000K)のラインナップを持つ直管スタータ, 円形スタータ蛍光灯.	http://www.mol-oml.co.jp/catalog/frame_catalog.htm
------------	--------------	--	---

(森下 大輔)

7 - 2 . 照明器具およびシステム

商品名	会社名	商品概要	URL
TRUMPF Medical Systems	TRUMPF 社	患者に良質な (well-being) 光を提供するシステム.	http://www.trumpf-med.com/15.presse_bilder_galerie.html
HUMANERGY BALANCE	Zumtobel 社	人に配慮した照明と省エネ照明を両立したシステム.	http://www.zumtobel.com/PDB/Teaser/EN/AWB_Health_Care.pdf
Dynamic Lighting	Philips 社	午前, 午後と相関色温度と照度を変化させる照明システム. 光により良質な環境を提供する.	http://www.lighting.philips.com/microsite/dynamic_lighting/start_int.html
寝室環境システム	パナソニック電工(株)	快眠環境を提供したシステム. 照明以外の製品もある.	http://denko.panasonic.biz/Ebox/sleep/commodity/

BSS (パースサポートシステム)	(株)シンフォニア	お産の時に感じる不安や緊張を“音・光・映像”の効果によって和らげる分娩支援システム。	http://www.symphonia-inc.com/bss_top.html
注文住宅	(株)マルナカホーム	生体リズムに配慮した住宅を提供する。	http://www.marunaka.tv/home/parenting/rhythm.html

(東 洋邦)

7 - 3 . 光療法装置

商品名	会社名	商品概要	URL
goLITE BLU	PHILIPS	青色LEDを光源とするポータブル光刺激装置。	http://www.lighttherapy.com
Wake-up Light	PHILIPS	夜明けを模擬し、円滑な目覚めを促す。 (起床前漸増光照射装置)	http://www.wakeuplight.philips.com/
LITEBOOK Elite	LITEBOOK	白色LEDを光源とするポータブル光刺激装置。	http://www.litebook.com
Dia Sleep Aid Light Therapy	NatureBright	白色LEDを光源とするポータブル光刺激装置。	http://www.naturebright.com
PER3 Deluxe Light Therapy Lamp	NatureBright	白色LEDを光源とするスタンド型光刺激装置。 起床前漸増光照射機能も備える。	http://www.naturebright.com

SunTouch Plus Light & Ion Therapy	NatureBright	蛍光灯を光源とする光刺激装置．マイナスイオン発生機能も備える．	http://www.naturebright.com
Sun Rise Clock	BioBrite	夜明けを模擬し、円滑な目覚めを促す． （起床前漸増光照射装置）	http://www.biobrite.com
Deluxe Light Visor	BioBrite	LED を光源とするサンバイザー型光刺激装置．	http://www.biobrite.com
Bodyclock ELITE 300	Lumie	夜明けを模擬し、円滑な目覚めを促す． （起床前漸増光照射装置）	http://www.lumie.com/
Pharos MAX	Lumie	蛍光灯を光源とする光刺激装置．	http://www.lumie.com/
Zip	Lumie	高色温度白色LED を光源とするポータブル光刺激装置．	http://www.lumie.com/
ASSA (アッサ)	パナソニック 電工	夜明けを模擬し、円滑な目覚めを促す． （起床前漸増光照射装置）	http://denko.panasonic.biz/Ebox/bedroom/ASSA/index.html

(野口 公喜)

8 . あとがき

3年間の研究調査委員会活動を通じて、インターネット検索システムを用い世界中で行われている『光と人間の生体リズムに関する研究』に関して調査し、研究概要のデータベースを作成することができた。また、国内の各研究者の研究内容や全世界の主だった研究者の研究論文を調査し、体系的にまとめることができた。また、全世界の関連企業の生体リズム配慮照明器具や研究開発状況についても調査しまとめることができた。これらのデータは“Light & Health”に関連する研究者や商品開発者に大いに役立つことと思う。

ただ、この3年間にもグローバル的な動きは早く、ヨーロッパでは早くも“Light & Health”関連する照明基準の必要性が叫ばれ、不完全ながらも推奨案なるものが作成され、活用され始めようとしている。

他方、LEDや有機ELといった次世代の固体発光素子光源（SSL）が急速に世の中に広まりつつある。日本はハード面では、このSSL分野では最先端を走っているが、日本のSSL技術を全世界に波及させるにはハード技術だけでなく、ソフトやアプリケーション面（使い勝手）でのリーダーシップが必要になる。その時にもこの“Light & Health（光と健康）”の指針が重要になってくる。

そのためにも、日本国内での知見を結集した推奨指針の作成が早急に望まれる。一挙にJISやISO規格という取り組みは難しいため、まずは照明学会の推奨指針としての取りまとめを期待したい。1990年代には照明学会はハード&ソフト両面で学会の推奨基準を多数まとめ、結果としてそれをJISや工業会基準に展開していったという歴史もある。最近では、学会の推奨基準作成の委員会設立が少なくなっているが、有識者の集まりである学会の一つの大きなミッションとして『公平な立場で専門家の意見をまとめた学会基準を作り上げる』というものがあると思う。

次のステップの委員会では、この結果を受けて是非学会推奨指針を作り上げる活動を展開していただきたい。

最後に、忙しい中、3年間にわたり、全世界の研究論文を調査してくださった若手の委員の皆様へ感謝いたします。

（委員長 阪口 敏彦）

研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は（社）照明学会に帰属します。

複写をされる方に

本報告書に掲載された著作物は、政今が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。