

令和 元年 6 月 13 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02426

研究課題名(和文)子どもの高い光感受性と概日リズムの夜型化・成熟に関する研究

研究課題名(英文)Circadian rhythm and maturation in children with high sensitivity to light.

研究代表者

樋口 重和(Higuchi, Shigekazu)

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：00292376

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,700,000円

研究成果の概要(和文)：学童期の子どもの生体リズムは、就寝前の青色成分を多めに含む白色系の光の影響を大人より受けやすかった。また、低年齢の学童期の子どもの睡眠は、体内時計との結びつきが強く、就寝時のメディア使用の影響を受けやすかった。人工照明を極力使わないキャンプに参加する子どもの生体リズムは自然の明暗サイクルに同調する傾向を示した。また、学童期の短い睡眠と遅い就寝時刻が初経の開始と関連する傾向が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本人の子どもの睡眠時間は世界的に短く、睡眠が夜型化している。夜の光は体内時計に作用し睡眠の夜型化を引き起こす要因となるが、子どもで夜の光の影響を調べた研究は少ない。本研究では、学童期の子どもが大人に比べて夜の光の影響を受けやすいことを光の波長特性も含めて明らかにし、人工照明に頼らないキャンプ時の生体リズムの特徴を明らかにし、さらに学童期の夜型の睡眠と性成熟の関連も明らかにした。現代社会の子どもの抱える問題を学術的に明らかにした貴重な成果と言える。

研究成果の概要(英文)：The circadian rhythms of school-age children were more susceptible to the effects of blue-enriched white light before going to bed than adults. In addition, the sleep of school-age children with lower age had a strong connection with the biological clock and was more susceptible to the use of media at bedtime. The circadian rhythm of children who participated in the camp which used artificial lighting as little as possible tended to be synchronized with the natural light and dark cycle. In addition, short sleep time at school age and late bedtime tended to be associated with the onset of menarche.

研究分野：生理人類学

キーワード：光環境 概日リズム メラトニン 子ども 睡眠 初経 性成熟

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

夜の光は脳の非視覚的な経路を通して概日時計、メラトニン分泌、覚醒度などに作用することから、睡眠習慣の夜型化の問題の背景には夜の光が関係している可能性がある。光の非視覚作用を調べた過去の研究は大人を対象としたものが多く、子どもを対象にした研究は少ない。これまで白色光によるメラトニン抑制が子どもでは大人より大きいことが明らかにされていたが<sup>1)</sup>、光の波長特性の違いは十分な検討がされていなかった。子どもは水晶体の光透過率が大人に比べて短波長の青色光で高いために<sup>2)</sup>、青色成分を多く含む光の影響を受けやすいことが予想された。

子どもを対象に夜の光の影響を明らかにするにあたって、そもそも夜の人工照明のない自然に近い環境で生活を送った時の概日リズムの特徴自体が分かっていなかった。海外で大人のキャンプ実験はあったが<sup>3)</sup>、子どものキャンプ中の概日リズムを明らかにした研究はなかった。本研究では栃木県の茂木町のキャンプ施設で行われている30泊31日キャンプの協力で得ることで実験が可能となった。

子どものメラトニン分泌量は大人よりも高く、性成熟とともに減少していくことが知られている<sup>4)</sup>。動物実験ではメラトニンには性成熟を抑える作用があることも知られている。もし夜の光によって夜間のメラトニン分泌量が本来の分泌量よりも少なくなっているとしたら、近年の子どもの早熟傾向と夜の人工照明が関係しているかもしれないと考え、両者の関係を明らかにするための研究を行うことを考えた。

### 2. 研究の目的

- (1) 子どもは大人よりも夜の光の影響を受けやすいことが分かっているが、光源の波長特性の違いは明らかとなっていない。そこで近年家庭照明としても普及しているLED光源を用いて、就寝前の照明の色温度の違いがメラトニン分泌と眠気に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。
- (2) 人工照明の影響はたくさん調べられているが、人工照明の影響のない環境で生活した時の概日リズムの特徴についてはよく知られていない。本研究では、夜の人工照明を極力使わずに、自然の明暗周期に合わせて寝起きする長期キャンプに参加する子どものデータを測定することを目的とした。
- (3) フィールドで多数の子どもの睡眠データを得るためには、携帯性に優れ、低コストのデバイスが必要とされる。本研究では、大人用として睡眠判定の妥当性と信頼性が証明されている市販の活動量計を用い、子どもの客観的睡眠評価を行う睡眠判定アルゴリズムを確立し、子どもにおける光環境、生体リズム、睡眠習慣の関係を年齢ごとに評価することを目的とした。
- (4) 学齢期における子供への光曝露や睡眠状況がその後発育・発達にどのような影響を与えるのか、明らかにすることを目的とした。性成熟に入る前の子どもを追跡することを考えていたが、フィールドの確保ができなかった。本研究では、高校生を対象に、過去の身長と体重の推移、初経発来時期、睡眠習慣、生活環境との関係を明らかにする研究へと目的を変更して実施した。

### 3. 研究の方法

- (1) 大人20名(平均年齢 $41.7 \pm 4.4$ 歳)と小学生の児童22名(平均年齢 $8.9 \pm 2.2$ 歳)を被験者とし、宿泊施設を利用した二泊三日の実験を行った。一日目の夜はベースラインとして薄暗い部屋での唾液中メラトニン濃度を測定した。二日目の夜に、19時から普段の就寝時刻の1時間後まで、被験者を昼白色の光条件(6300K)と電球色の光条件(3000K)にランダムに分けて曝露した(照度は約270 lx、光源はLED天井照明)。二日目は、唾液中メラトニン濃度と主観的な眠気を測定した。
- (2) 2016年と2017年の夏の長期キャンプに参加する合計42名の男女児童(平均年齢 $10.5 \pm 1.3$ 歳、9~14歳)を対象とした。ベースラインデータとしてキャンプに参加する前の2週間の睡眠日誌と光センサー付きの腕時計型行動量計でアクチグラフと光曝露量の記録を行った。これらの測定はキャンプ中も継続した。キャンプ初日とキャンプ中盤(2016年は10日目、2017年は17日目)に、白熱灯による低照度(30 lx以下)の部屋で、30分または1時間間隔で唾液を採取し、唾液中メラトニン濃度を放射免疫測定法で定量化した。概日リズム位相の指標にはDLMO(Dim Light Melatonin Onset)を用いた。また、キャンプによる日中の光曝露量の増加が夜間のメラトニン分泌量に与える影響を調べるために、蓄尿による尿中メラトニン代謝物を測定した。また、日中の光曝露の増加が夜間の光感受性に及ぼす影響についてもメラトニン抑制試験によって調べた。
- (3) 36名の男女児童(平均年齢 $10.7 \pm 2.8$ 歳、6~15歳)を対象にFS-760と終夜睡眠ポリグラフ(PSG)の同時測定を行った。FS-760の活動量からPSGの睡眠覚醒を推定する5次の判別関数を半数で作成し、もう半数で精度を評価した。同時測定に先立ち、7日間の在宅睡眠記録を行った。同時測定のための来所後、消灯6時間前から消灯まで唾液を採取し、メラトニン分泌開始時刻(DLMO)を決定した。また、子どもの朝型-夜型質問票日本語版(CCTQ-J)と自宅の照明環境及び就寝時のメディア使用に関する質問紙の回答を得た。習慣的入眠時刻を決定要因としたステップワイズ重回帰分析を低年齢群(6-11歳)、高年齢

群（12-15歳）ごとに実施し、入眠時刻決定に関わる因子を探索的に評価した。

- (4) 対象者は高校に在学する女子を対象とし、質問紙を用いて調査を行った。質問に関しては、現在の生活習慣等に加え、過去の生活習慣を振り返り、小・中学生期における生活習慣や睡眠状況について、平日・休日別に就寝時刻及び起床時刻や夜更かしに関して、思い出し法により実施した。また、月経については、初経発来時期（何年生の何月頃）、現在の月経状況などについて尋ねた。睡眠に関連すると考えられる自分の部屋へのテレビの設置やパソコン・スマートフォンの保有状況についても、合わせて調査を行った。なお、対象者には本研究の目的やプライバシーの保護について、説明し、同意の得られた生徒のみ、調査を実施した。

#### 4. 研究成果

- (1) 光によるメラトニンの分泌抑制の大きさを比較した結果、子どもにおいてのみ両光条件とも有意なメラトニンの分泌抑制が認められた。さらに、低色温度の電球色条件（3000K）より高色温度の昼白色条件（6200K）の方が、高いメラトニン抑制率を示した（図1）。また主観的な眠気においても、3000K条件では夜間の眠気が増加していたのに対して、6200K条件では眠気の増加が抑えられていた。以上の結果より、子どもの非視覚作用は短波長の光成分を多く含む光の影響を受けやすいことが分かった。

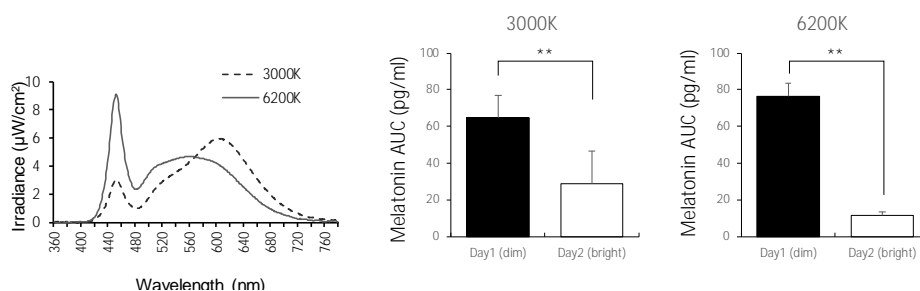


図1. 照明の分光分布とメラトニン分泌量（子ども）

- (2) キャンプ前に比べてキャンプ中は有意に就床と起床時刻が約2時間早まっていた(表1)。これはキャンプ中では就床と起床時刻があらかじめ決められていたことによる。概日リズム位相の指標であるDLMOも同様に約2時間早まっていた。DLMOはキャンプ地の日没の時刻(18:46)より少し早い時間帯であった。位相の前進量には個人差があり、キャンプ前のDLMOが遅い子どもほど(普段の生活で夜型の子どもほど)前進量は大きかった。

表1. キャンプ前とキャンプ中の睡眠習慣と概日リズム位相

	キャンプ前 (mean±SD)	キャンプ中 (mean±SD)	T-test n = 28
起床時刻 (h:m)	6:22±0:59	4:20±0:16	p<0.001
就床時刻 (h:m)	21:47±0:56	19:41±0:09	P<0.001
睡眠時間 (h:m)	8:35±0:41	8:38±0:19	n.s.
入眠潜時 (h:m)	0:08±0:09	0:11±0:14	n.s.
DLMO (h:m)	20:37±0:44	18:29±0:31	p<0.001

から、夜のメラトニンの分泌量が増加していることが考えられたが、夜間の蓄尿から得られたメラトニン代謝物の量にキャンプ前とキャンプ中で違いが認められなかった。また、日中の光曝露の増加で、夜間の光の影響を受けにくくなると考えられたが、就寝前の光曝露によるメラトニン抑制率にはキャンプ前とキャンプ中で有意な差はなかった。キャンプ前のメラトニン抑制率には大きな個人差があり、光によってメラトニンが抑制されにくい子どもほど就寝時刻やDLMOが早いという特徴があった。光感受性の個人差が普段の睡眠習慣と関連することを示唆する結果が得られた。

- (3) 判別関数の一致率は86.4%、感度は88.1%、特異度は64.2%と、成人におけるFS-760の精度と同等であったことから、本研究で作成したFS-760のための新しい児童用睡眠覚醒判定アルゴリズムは十分な精度を有することが示された。入眠時刻を目的変数とした重回帰分析の結果、低年齢群では入眠時刻の決定要因としてDLMOと就寝前のメディア使用時間が抽出されたが、高年齢群ではクロノタイプのみが抽出された。本研究の結果から、低年齢の児童は高年齢の児童と比較して体内時計と睡眠の結びつきが強く就寝時のメディア使用の影響を受けやすいことが示された。
- (4) 身長および体重の推移について、学校保健統計調査結果と比較したところ、ほぼ同様の推移を示し、本対象集団が発育面において、偏りのある集団では無いことを確認できた。初経年齢の平均は12.1±1.3歳であり、近年の報告と比較しても、ほぼ同年齢であった。就寝時刻と初経発来時期についてみると、小学生の時に就寝時刻が遅くなるにつれて、また、睡眠時間の短い児ほど、初経発来時期の早まる傾向を観察することができた。1日の光曝

露時間が長くなると考えられる夜更かしとの関係についてみると、夜更かしを始めたのが、中学生や高校生と答えた児に比し、小学校中学年や高学年と答えた児ほど、初経発来の早いことが観察された。これらのことから、初経が始まる前の睡眠習慣が、初経発来時期に影響を与える可能性が示唆された。

(引用文献)

- 1) Higuchi S, Nagafuchi Y, Lee SI, Harada T. Influence of light at night on melatonin suppression in children. *J Clin Endocrinol Metab*, 99:3298-3303, 2014
- 2) Barker FM, Brainard GC, Dayhaw-Barker P. The direct spectral transmittance of the excised human lens as a function of age. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 32S:1083, 1991
- 3) Wright KP, Jr., McHill AW, Birks BR, Griffin BR, Rusterholz T, Chinoy ED. Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle. *Curr Biol*, 23:1554-1558, 2013
- 4) Salti R, Galluzzi F, Bindi G, Perfetto F, Tarquini R, Halberg F, Cornelissen G. Nocturnal melatonin patterns in children. *J Clin Endocrinol Metab*, 85:2137-2144, 2000

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 18 件)

- Sang-il Lee, Kouhei Matsumori, Kana Nishimura, Yuki Nishimura, Yuki Ikeda, Taisuke Eto, Shigekazu Higuchi (2018) Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue enriched white LED lighting at night. *Physiological Reports*. 6(24): e13942. 査読有. <https://doi.org/10.14814/phy2.13942>
- Masakazu Okada, Masaaki Otaga, Takako Tsutsui, Hisateru Tachimori, Shingo Kitamura, Shigekazu Higuchi, Kazuo Mishima (2018) Association of sleep with emotional and behavioral problems among abused children and adolescents admitted to residential care facilities in Japan. *PLOS ONE*, 13(6), e0198123. 査読有.  
(ア)<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198123>
- Kurokawa Naoyuki (2018) The experience of large earthquakes in Japan and impact on body physique in schoolchildren, *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, Vol.7, 15-18. 査読有. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.7.15>
- Yumi Fukuda, Airi Kai, Sei-ichi Tsujimura, Shigekazu Higuchi, Takeshi Morita (2017) Human Melatonin Suppression in Response to Silent Substitution Stimuli of Photoreceptors, *Journal of Science and Technology in Lighting*. 41. 211-216. 査読有. <https://doi.org/10.2150/jstl.IEIJ160000593>
- 江藤太亮, 松森孝平, 李相逸, 樋口重和(2018) 瞳孔の対光反射のスペクトル感度に関する研究: 児童と若年成人の比較. *日本生理人類学会誌*. 23(2). 63-67. 査読有. [https://doi.org/10.20718/jjpa.23.2\\_63](https://doi.org/10.20718/jjpa.23.2_63)
- 小宮秀明, 黒川修行(2018) 小学校 6 年間の縦断的調査を基にした肥満児童の体格の推移, *体育学研究*, 63 巻, 495-504. 査読有. <https://doi.org/10.5432/jjpehss.17069>
- Masakazu Okada, Shingo Kitamura, Yoshitaka Iwadare, Hisateru Tachimori, Yuichi Kamei, Shigekazu Higuchi, Kazuo Mishima (2017) Reliability and validity of a brief sleep questionnaire for children in Japan. *J Physiol Anthropol*, 36(1) 35. 査読有.  
(ア)<https://dx.doi.org/10.1186%2Fs40101-017-0151-9>.
- 樋口重和(2017) 子どもの睡眠問題と光環境(特集 光環境と睡眠・概日リズム). *睡眠医療*. 11(4):501-505. 査読無.
- 北村真吾 (2017) 子どもの眠りの生理的变化~新生児から小学生まで~. *チャイルドヘルス*, 20(10), 6-10. 査読無.
- Shigekazu Higuchi, Sang-il Lee, Tomoaki Kozaki, Tetsuo Harada, Ikuo Tanaka (2016) Late circadian phase in adults and children is correlated with use of high color temperature light at home at night. *Chronobiol Int*.33(4). 448-452. 査読有. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1152978>
- Shingo Kitamura, Minoru Enomoto, Yuichi Kamei, Naoko Inada, Aiko Moriwaki, Yoko Kamio, and Kazuo Mishima (2015) Association between delayed bedtime and sleep-related problems among community-dwelling 2-year-old children in Japan. *J Physiol Anthropol*, 34, 12. 査読有. <https://doi.org/10.1186/s40101-015-0050-x>

[学会発表](計 27 件)

- Shigekazu Higuchi (2019) Circadian Responses to Spectrum of Light in Primary School Children. *Sleep 2019*. San Antonio, 招待講演.
- 江藤太亮, 西村佳菜, 武岡功汰, 李相逸, 鹿野晶子, 野井真吾, 北村真吾, 樋口重和 (2018) 自然の明暗サイクルに従った睡眠/覚醒リズムが子どものメラトニン分泌特性に及

ぼす影響. 第 25 回日本時間生物学会学術大会.

樋口重和 (2018) 個人における時刻合わせ問題: 学童期および青年期. 第 25 回日本時間生物学会学術大会, 招待講演.

北村真吾 (2018) 睡眠・生体リズムの個人差. 日本生理人類学会第 77 回大会. 招待講演

黒川修行, 野井真吾, 鹿野晶子, 千竈健人, 北村真吾, 樋口重和 (2018) 小児期における睡眠と初経発来時期の関係について, 第 77 回日本生理人類学会.

樋口重和 (2017) 子どもの夜の光に対する高い感受性と概日リズム. 第 35 回日本生理心理学会大会. 招待講演.

Shigekazu Higuchi, kana Nishimura, Sang-il Lee, Shingo Kitamura (2017) Entrainment of Circadian Rhythm to Natural Light-Dark Cycle in Children. 2017 SSHB - IAPA Joint Symposium.

Kitamura Shingo (2017) The usefulness of actigraphy for the assessment of sleep and metabolic problems. International Conference of Occupational Health and Safety (ICOHS) 2017. Bali, Indonesia. 招待講演.

北村真吾, 三島和夫, 樋口重和, 李相逸, 許慧敏 (2017) 低年齢の児童は高年齢の児童と比較して体内時計と睡眠の結びつきが強く就寝時のメディア使用の影響を受けやすい. 日本睡眠学会第 41 回定期学術集会.

黒川修行 (2017) 宮城県における学齢期の子どもたちの肥満の現状について (シンポジスト), 第 53 回宮城県公衆衛生学会.

樋口重和 (2016) 子どものメラトニンは夜の光の影響を受けやすい. 日本睡眠学会第 41 回定期学術集会. 招待講演.

Shingo Kitamura, Shigekazu Higuchi, Sang-il Lee, Humin Xu (2016) The relationship among light conditions, biological clock and sleep in children. Modernization and Health in the Asia-Pacific Region. Hilo, Hawaii, USA.

樋口重和 (2015) 自然環境への適応と人工環境への不適応: 光と生体リズムの観点から. 日本生理人類学会第 72 回大会. 招待講演.

#### 〔図書〕(計 5 件)

樋口重和 (2019) ヒト概日時計の評価方法. 山口大学時間学研究所編. 時間学の構築 ヒトと概日時計と時間 (pp.27-44). 恒星社厚生閣.

北村真吾 (2018) 子どもの「睡眠負債」 今、大人にできること. 子どものからだと心・連絡会議編, 子どものからだと心白書 2018 (pp. 35-37). ブックハウス・エイチディ.

北村真吾 (2016) 睡眠の発達と加齢. 三島和夫編, 睡眠科学 (pp. 239-251). 化学同人.

黒川修行 (2016) 子どもの体位・体力にかかわる健康問題とその課題. 日本教育保健学会編. 教師のための教育保健学, (pp.58-61) 東山書房.

樋口重和 (2015) 夜の光の影響は子どもの方が大きかった! 子どものからだと心・連絡会議. 子どものからだと心白書 2015 (pp.35-37). ブックハウス・エイチディ.

#### 〔その他〕

1. 樋口重和. NHK あさイチ. 特集 電気代は? 眠るには? 目には? 知って得する照明術. 2017 年 10 月 11 日

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 北村 真吾

ローマ字氏名: (KITAMURA, Shingo)

所属研究機関名: 国立精神・神経医療研究センター

部局名: 精神保健研究所 睡眠・覚醒障害研究部

職名: 室長

研究者番号 (8 桁): 80570291

##### (2) 研究分担者

研究分担者氏名: 黒川 修行

ローマ字氏名: (KUROKAWA, Naoyuki)

所属研究機関名: 宮城教育大学

部局名: 教育学部保健体育講座

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 30431505

##### (3) 研究分担者

研究分担者氏名: 森田 健

ローマ字氏名: (MORITA, Takeshi)

所属研究機関名: 福岡女子大学

部局名：人間環境科学研究科  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：20326474

(4)研究分担者

研究分担者氏名：野井 真吾  
ローマ字氏名：(NOI, Shingo)  
所属研究機関名：日本体育大学  
部局名：体育学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：00366436

(5)研究分担者

研究分担者氏名：太田 英伸  
ローマ字氏名：(OOTA, Hidenobu)  
所属研究機関名：国立精神・神経医療研究センター  
部局名：精神保健研究所 睡眠・覚醒障害研究部  
職名：研究生  
研究者番号（8桁）：80422103

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。