

睡眠覚醒サイクルの変動要因とその特徴 ～「春眠暁を覚えず」の疫学～

橋崎将典¹・桑 和彦²✉

1:オムロン株式会社 技術知財本部、2:名古屋市立大学 大学院薬学研究科 神経薬理学分野

ヒトの睡眠覚醒サイクルは様々な要因によって日々、変化している。性別や年齢などの内因性要因の影響は以前からよく知られているが、気候や社会活動などの外因性要因の影響については、統制された研究室などの環境下による実験と、質問紙や簡便な睡眠計測機器の開発による実際の生活環境に近いデータを紐付けることで、近年、様々な知見が得られるようになった。現代社会では、睡眠に問題を抱えている人は数多く存在し、社会問題となっているが、その背景には、社会的な時間の制約や、自然環境の変化などの様々な要因が複雑に絡まっている。本稿ではまず、社会的な時間の制約がヒトの睡眠覚醒サイクルおよび生活に与える影響について週単位の特徴的な傾向を中心に紹介し、ついで外部の自然環境の1年を周期とする変化による季節変動について述べ、高度に情報化された現代における睡眠覚醒サイクルの変動について概括する。

1. はじめに

ヒトは太古の昔より、1日の中で生じる、主に昼と夜の二つの環境変化に対して、覚醒と睡眠という異なる2つの状態を行き来しながら生活をしている。この睡眠覚醒サイクルを調整する機構の基本的な機能を担っていると考えられているのが、生体の状態を一定に保とうとする生命維持のしくみ、ホメオスタシスと、約24時間の周期で変動する生理的な現象のサーカディアンリズムである。産業革命がおこる前の近代化以前の生活においては、ヒトの睡眠覚醒サイクルに影響を与える主な要因は自然環境の変化で、ヒトは日照時間や天候に自らの生活パターンを適応させてきた。

サーカディアンリズムを作り出すのは1日の時間を測る体内時計で、脳の視床下部にある視交叉上核にその司令塔が存在する。目から入った光は脳に到達して、この視交叉上核に働きかけることで体内時計を調節している。朝早い時間帯の光はヒトの体内時計を進める効果があり、それとは反対に夕方から深夜にかけての光はヒトの体内時計を遅らせる¹。ヒトの深部体温もサーカディアンリズムを持っており、睡眠覚醒サイクルがこの深部体温のリズムとも関連していることが知られている。周囲の温熱環境は温熱感覚や体温調節に働きかけて睡眠に影響を与えており、就寝中の低温暴露と高温暴露はどちらも適度な温熱環境下と比較して睡眠段階に変化をもたらす²。但し、低温暴露に対しては服を着たり、寝具を重ねたりするなどの

行動的な体温調節によって、適切な温熱環境に保たれる場合が多く³、主に高温暴露に対する睡眠への影響に焦点を置いた研究がなされてきた。高温暴露はその程度にもよるが、徐波睡眠、REM (Rapid Eye Movement) 睡眠が減少し、睡眠段階1と中途覚醒の増加など睡眠段階の構造への影響がみられる^{4,5}。これらの変化は社会が高度に情報化する前までは主に年間を通した大局的な環境の変化と太陽光の1日の変化によって生じていた。

しかし、近年の先進国に代表される高度に情報化された社会においては、ヒトの日々の生活パターンは学校や仕事などの社会的活動に大きく左右されるように変化した。更に、空調や照明機器の普及によって、自然が作り出す環境とは無関係に、ヒトにとって快適な環境を人工的に作り出すことが可能となり、このことが、ヒトの生活パターンの変化を促進した。これらの社会的かつ人工的な要因の影響によって、ヒトの睡眠覚醒サイクルは徐々に変化していき、結果としてここ30年近くで日本を初めとする多くの国々で夜型化が進み、睡眠時間は短縮する傾向にある⁶。このように様々な要因によって変化する睡眠覚醒サイクルであるが、本稿では、まず社会的な要因による影響が大きいと思われる、一週間を単位とする覚醒と睡眠の特徴的なパターンと、それらの生活への影響を紹介する。次に、今日のような高度に情報化された社会において、長期的な外的環境変化である季節変動が及ぼす影響

✉ kume@phar.nagoya-cu.ac.jp

に焦点を当てることで、ヒトの睡眠覚醒サイクルが短期的、長期的にどのような要因によって変化しているかについて概括する。

2. 睡眠の週内変動

ヒトはそれぞれクロノタイプと呼ばれる一日の活動の時間的指向性を持っており、大きく「朝型」「中間型」「夜型」のカテゴリに分けられることが多い。しかし、現在の生活においては、社会的な活動に伴う時間の制約によって、個人が思うような時間に就寝して起床する睡眠スケジュールの決め方を実現することは難しい。特に、社会的な時間の制約は主に学校や仕事によってもたらされるため、多くの人は学校や仕事のある日（主に平日：月曜日から金曜日）とない日（主に週末：土曜日と日曜日）で生活のパターンが異なる。典型的な生活パターンの変化は睡眠スケジュールに表れ、学校や仕事がない日はある日と比較して遅い時刻に就床して遅い時刻に離床する。そして、就床時刻の遅延よりも離床時刻の遅延の方が大きく、学校や仕事がある日よりも長めに睡眠に費やす時間を確保している。これは学校や仕事がある日の睡眠は自分が望みだけの睡眠の長さを確保できておらず、日々、睡眠不足が蓄積していくことを表している。ミュンヘンクロノタイプ質問紙（Munich ChronoType Questionnaire: MCTQ）という個人のクロノタイプを評価するために開発された質問紙を用いて、ヨーロッパの複数の国々を対象として、合計5万人以上から取得したデータからは、入眠時刻と起床時刻の真ん

中の時刻にあたる睡眠の中央時刻（mid-sleep time）と、入眠時刻から起床時刻までの長さである睡眠時間（sleep duration）の分布は学校や仕事がある日とない日では異なり、学校や仕事がない日では mid-sleep time は遅延し、sleep duration は延長する傾向にあることが報告されている^{7,8}。

筆者らが、アクチグラフと同等の機能を持つ電波を利用した非接触型の睡眠計⁹を用いて収集したデータにおいても、週末（金曜日の晩と土曜日の晩）に平日（日曜日の晩から木曜日の晩）よりも遅く就床して、遅く離床していた。また、その週末と平日の差は年代とともに減少する傾向にあった¹⁰。床に入ってから床から出るまでの長さである総就床時間は、20歳代から40歳代では、加齢によって就床時間が早まる割合より、起床時間が早まる割合の方が大きいため、徐々に短縮する傾向があったが、その後、増加に転じた（図1）。週末と平日の差は60代で急激に減少するが、この年代は一般的に定年で退職する時期であり、自分が望みだけの睡眠の長さを確保しやすくなり、更に、平日と週末のライフスタイルの違いがなくなると想定されることから、社会的な時間制約の有無が睡眠覚醒サイクルに与える影響の大きさが推察される¹⁰。

日々の少しの睡眠不足が借金のように積み重なることで心身に悪影響を及ぼす恐れのある状態を、「睡眠負債（Sleep debt）」と呼ぶが、この睡眠負債について、近年、北村らが興味深い研究を報告した¹¹。彼らは自覚的には睡眠不足を感じていない健康な被験者を集め、被験者に毎晩12時間就床するように指示

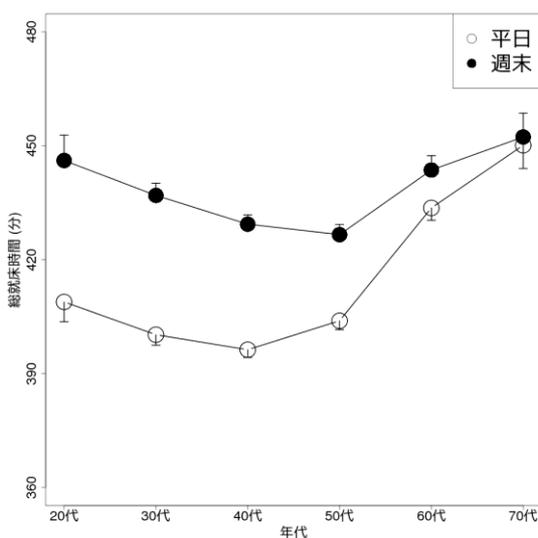


図1 平日と週末における総就床時間の年代ごとの変化。総就床時間の年代ごとの平日および週末の平均値（±標準誤差）。40代まで短くなるが、50代以降から長くなり、平日と週末の差は減少する傾向にある。

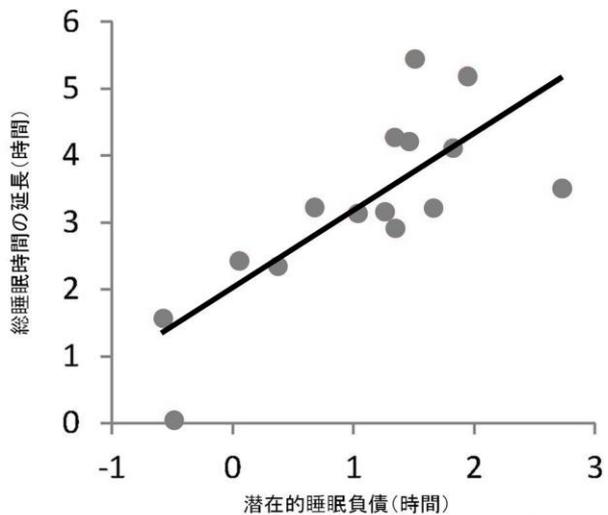


図2 潜在的睡眠負債と総睡眠時間の延長時間との相関。縦軸の総睡眠時間の延長は、習慣的な総睡眠時間と実験初日の総睡眠時間との差分を表し、横軸の潜在的睡眠負債は個人ごとの習慣的な総睡眠時間と最適な総睡眠時間との差分を表し、これら二つの指標が正の相関を示す。（参考文献11より改変して引用）

した。その結果、実験初日に被検者は平均で3時間程度、普段よりも長く眠り、その後、徐々に総睡眠時間（床にいる時間の間に睡眠と判定された時間の総和）は短くなったが、1週間後でも、普段の習慣的な平均的な総睡眠時間よりも1時間程度長く眠ることを見出し、これを「潜在的睡眠負債」とみなした。さらに、この負債の長さが、実験初日の総睡眠時間の延長と比例することを明らかにした（図2）。つまり、普段の生活における週末の睡眠覚醒サイクルの変化の大きさは、普段の睡眠不足の程度に比例すると考えられることから、若い世代ほど、睡眠不足の度合いが大きいことが推察される。

この社会的な時間制約の有無による睡眠覚醒サイクルの変化は、サーカディアンリズムやヒトの認知的な活動および行動に影響を与えること、健康状態に対するリスク因子となることが示唆されている。

週末に平日と比較して遅い睡眠スケジュールで過ごす、週末も平日と同じ睡眠スケジュールで過ごした場合と比較して、日曜日の就寝前の主観的な眠気の度合いが低く、入眠するまでに長い時間を要し、続く月曜日の認知パフォーマンスと全体的な気分の評価が低い¹²。更に、週末に平日と同じ時刻に就床して、離床時刻だけを遅くした場合にも、サーカディアンリズムの指標であるメラトニン分泌開始時刻（*dim light melatonin onset: DLMO*）が日曜日に遅延し、入眠に必要な時間が長くなり、続く週の日中の疲労や眠気が増加する傾向がみられた¹³。一方で、週末に遅い睡眠スケジュールで過ごした被検者にメラトニンを投与すると、DLMOの遅れが中和され、日曜日の日中の眠気を増加させ、入眠に必要な時間を減少させる効果があった¹⁴。日々の生活の中で容易に実施可能なサーカディアンリズムの調整方法として、午前中の光暴露は睡眠相を前進させる効果があることが知られているが、若者を対象とした場合、週末の朝に光暴露をただけでは、サーカディアンリズムを一定に保つことには効果がみられなかったとの報告もある¹⁵。これらは社会的な時間の制約の有無によって生じる1週間を単位とした睡眠覚醒サイクルの変化によって生じるサーカディアンリズムの乱れを整えることの難しさを示唆している。このように週明けは、遅れたサーカディアンリズムの状態、平日の社会的な時間を過ぎさねばならず、生活パターンの変化によってもたらされた、生体リズムと社会的時間のずれた「社会的時差ボケ（*Social jetlag*）」の状態に陥る。更に、サーカディアンリズムの乱れは、健康な青年の報酬系の脳機能や睡眠不足症候群の青年の学業成績などと

関連していることも報告されており、影響を及ぼす範囲の大きさが特徴である^{16,17}。

睡眠覚醒サイクルの変化は学校や仕事の有無が一番典型的な要因となるため、平日と週末の差異が問題として取り上げられることが多いが、それ以外にも、出張や仕事の繁忙など、その他の様々な要因によっても睡眠スケジュールは日々変動し、それらの変動もまた同様にヒトの生活に影響を及ぼしている。平日と週末のように睡眠スケジュールに大きな変化がなくても、平日の小さな起床時刻の変動でも、主観的な睡眠の質の悪化と関係しており¹⁸、大学生から高齢者までの幅広い年齢層を通してみても、睡眠習慣を含む規則正しい生活習慣を送っている人ほど、主観的な睡眠がよいという報告もされている¹⁹⁻²¹。規則正しい生活かどうかを判定する基準については一般的に決められた閾値が存在しているわけではないが、退職後の高齢者を対象とした場合、就床時刻と起床時刻のばらつきの小さい（15分以内）群の方がばらつきの大きい（15分より大きい）群よりも、主観的な睡眠の質がよく、睡眠効率（床にいた時間に占める実際に寝ている時間の割合）もわずかに高いことが報告されている²²。そして、日々の睡眠スケジュールが安定していない個人に対して、事前に取り決めた1時間の時間幅で就床、起床するように指示をすると、日中の眠気が減り、入眠に必要な時間が短縮し、睡眠効率も上がるという効果が報告されており²³、規則正しい睡眠スケジュールで過ごすように支援することで、サーカディアンリズムを整え、生活の質（*quality of life: QOL*）の向上をもたらすことが期待されている。

これまでに見てきた通り、社会的な要因によって発生する睡眠スケジュールの遅延や乱れはサーカディアンリズムの乱れに繋がり、その影響が日中の眠気や活動のパフォーマンスにまで及ぶ。しかし、その影響は人々のQOLにより大きなインパクトを与える生活習慣病や重大な行動との関連性が示唆されている。近代化された社会における重要な問題の一つとして肥満率の増加が挙げられるが、学校や仕事がある日の睡眠時間で調整した後の、学校や仕事がない日のmid-sleep timeはBMI（*Body Mass Index*） ≥ 25 の過体重および肥満群においてはBMIと相関する、つまり、社会的な時間の制約がない日に夜型の人ほどBMIが高値になる傾向がある²⁴。また、サーカディアンリズムの乱れは睡眠の量的、質的な問題とは独立して糖尿病や炎症と²⁵、青年期においては平日の短いsleep durationと週末の寝坊は自殺と^{26,27}の関連性が示唆されている。一方で、社会的な時間の制約がない

日に、普段の生活で蓄積された睡眠不足の負債を解消するために長時間の睡眠を取ることは、体重の増加や高血圧のリスクを下げるという報告もされており^{28,29}、社会的な要因によって睡眠覚醒サイクルが変化することで引き起こされるサーカディアンリズムの乱れが及ぼす影響と、普段の睡眠では満たされていない、自身が求めている睡眠量を確保することによる影響との相互の関係性については更なる追加検証が必要である。

3. 睡眠の季節変動

前章までで、社会的な時間の制約がヒトの睡眠覚醒サイクルおよび QOL に及ぼす影響についてみてきたが、ヒトの生活パターンはその生活を取り巻く自然がもたらす外部環境の変化からも影響を受けている。外部環境の変化は様々な時間単位で発生しているが、特に何かしらの現象の変化が1年を単位として周期的に変化する場合、これを季節変動とよぶ。ヒトのサーカディアンリズムを調整する主要な刺激は光で、これは自然界では太陽光によってもたらされる。太陽光による光刺激は日の出に始まり、日の入りで終了するが、その開始と終了の時刻は地球の緯度と経度および、1年を通して変化する地軸の傾きによって決定する。そのため、赤道直下の地域を除く、地球上のほとんどの地域は年間を通して、日の出と日の入りの時刻が変動する。また、光刺激のタイミングだけでなく、気温も年間を通して大きく変動し、これらは互いに関連し合いながらヒトの睡眠覚醒サイクルに影響を与える。これらの影響について、以前は統制された実験室の環境下で、観測したい要因を絞って、それ以外の影響を出来る限り排除することで明らかにしてきた。しかし、近年は質問紙や簡便に日々の睡眠を計測できる機器の開発が進んだことから、実際に生活している環境下の睡眠データを収集することが可能となり、外部環境の季節変動が及ぼす実生活上での睡眠覚醒サイクルへの影響が明らかになりつつある。

まずは、睡眠計測のゴールドスタンダードであるポリソムノグラフィー (Polysomnography: PSG) を使って、研究室などの環境下で異なる季節ごとに数日間のデータ収集が行われた。PSG は複数の生体情報を同時に記録して様々な睡眠に関わる指標を算出することで、主に睡眠障害の診断に用いられる検査機器である。計測の手間や費用などのコストの側面から特定の個体で長期間のデータを収集することは難しいが、睡眠段階などの詳細な情報が取得できる。PSG の計測結果では、冬は夏と比較して就床時刻と起床時刻が

共に遅延し、REM 睡眠の時間が増加、深睡眠の時間が減少した³⁰。また、冬はサーカディアンリズムの指標である深部体温やメラトニンも夏と比較して後退していた^{31,32}。

PSG を用いた検査の次に、質問紙を使った季節変動に対するデータ収集が行われるようになった。質問紙は対象とする個体が回答する時点から過去数週間程度を振り返って、記憶を基に記入するような形式が多い。質問紙は主観的な記憶を頼りにしている点で客観性に限界があるが、その簡便さから大規模にデータを収集することが可能で、様々な角度から睡眠の傾向を分析できる特徴がある。季節による睡眠の質の変化については、ノルウェーにおいて12月の方が6月と比較して睡眠に関する悩みが多く³³、フィンランドでは夏に睡眠の質が悪くなるという結果が報告されている³⁴。更に、4月から9月にかけて取得したデータと10月から3月にかけて取得したデータとの間で差が認められなかったとする報告なども存在し³⁵、一致した見解は得られていない。これは、睡眠の質という、様々な要因によって日々変化するものであると同時に、定量化の難しい抽象的な概念に対して、主観的な記憶によって長期的で緩やかに進行する季節変動を抽出することの難しさを示唆しているものと考えられる。

しかし、質問紙を用いた睡眠覚醒サイクルに関する季節変動は、太陽光による光環境の変化が及ぼす影響が明らかになってきている。ヨーロッパの複数の国を対象に MCTQ を用いて大規模 (9765 人) に行った調査からは、光周期の季節による差をサマータイム適用期間と非適用期間の二つの期間に大別して比較すると、睡眠負債や年齢、性別といった要因で調整した後でも、学校や仕事のない日の *mid-sleep time* が、この二分した季節と関連していた。しかし、その影響の大きさは社会的な時間の制約によってもたらされる社会的時差ボケよりも小さいことが報告されている³⁶。同じく MCTQ を用いてドイツ全域に渡る睡眠スケジュールを調査したデータから、ドイツ国内でも西部に住むの方が東部に住む人よりも *mid-sleep time* が遅く、またその影響は都市部よりも地方の方が大きいことから³⁷、日の出や日の入り時刻の年間を通じた変化がもたらす影響と、その影響がライフスタイル、つまり社会的な時間の制約の大きさによって異なることが示唆されている。また、赤道付近に位置して季節による光環境の変動が小さいガーナと北欧に位置し変動が大きいノルウェーの2か国で冬(1月)と夏(8月)にそれぞれ一週間の睡眠日誌を集計して比較

したところ、1年間の光変動が大きなノルウェーでのみ就床時刻、起床時刻、睡眠効率、睡眠潜時（就床してから寝付くまでに要した時間）に季節変動が認められ、ガーナでは認められなかったことが報告されている³⁸。

最後に、主にヒトの体の動きから簡易的に覚醒と睡眠の状態を推定するアクチグラフに代表される機器を用いたデータを紹介する。アクチグラフは手首に装着する腕時計のような機器で、多少の装着感があることと、睡眠段階の詳細な判定は難しいものの、PSGよりも長い期間、定量的な評価ができるという点で実際の生活環境下における計測に適している。アクチグラフを用いて高齢者を対象に、夏（7、8月）、秋（10月、11月）、冬（2月）の3回に渡って、月曜日から金曜日までの連続した5日間の睡眠と、その時の皮膚温や寝室温度などの計測を行ったところ、夏は秋や冬に比べて起床時刻が早く、寝つきが悪く、中途覚醒が多くなる傾向にあり、その結果として、総睡眠時間が短く、睡眠効率が低いことが示された。Okamoto-Mizunoらは夏で他の季節と比較して睡眠が阻害されるのは表皮体温の変動によるものであると考察している³⁹。

筆者らが、非接触型の睡眠計を用いて収集したデータにおいても、起床時刻には明確な季節変動がみられ、夏に早起きして、冬に遅く起きる傾向にあった（図3）。しかし、この傾向は入眠時刻にはみられず、日没から

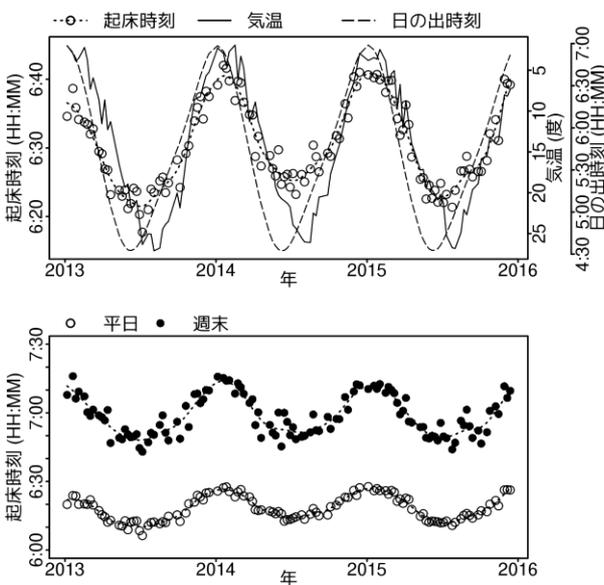


図3 起床時刻の3年間の時系列変動
1週間ごとに平均した起床時刻（年齢調整済み）の3年分の時系列変化。上の図は起床時刻（丸）、7日分の平均で日の出時刻（点線）、気温（実線）が相関している。下の図は、一週間を平日と週末に分けて平均、平日よりも週末の方が季節変動の振幅が大きい。

就床までには数時間の差が存在することや、夜型化した現代社会における人工的な照明などの普及が影響していると想定される。また、中途覚醒は夏と冬に増加傾向にあるが、冬の増加は睡眠効率の低下が小さいことから、単に総就床時間の延長によるものと考えられ、夏は外気温の上昇によって睡眠が阻害される傾向は上述の高齢者だけでなく、幅広い年代で発生しているものと考えられる⁴⁰。

これらの結果から、生活のパターンが社会的な制約を大きく受けていて、更に、人工的に光や温熱環境を操作することで、一年中快適な環境を作り出せるような現在の社会においても、体は確実に外部環境の変化を受け取って、それに応じて睡眠覚醒サイクルが年間を通して調整されていることを示している。

これらの報告では、睡眠に対する光と温度の影響を分離することはできないが、過去の統制された環境下における実験の結果からは、一般的に、光は就床や起床などの睡眠のタイミングに主に影響し、温度や湿度などの温熱環境は中途覚醒の量や睡眠段階の構造など、睡眠の量や質に主に影響すると考えられている。しかし、近年、温熱の変化も起床のタイミングに関連していることを示唆する報告がなされた。このデータでは今なお狩猟採集を行って生活をしている異なる三つの集団（タンザニアのHadza、ナミビアのSan、ボリビアのTsimane）の睡眠覚醒サイクルを、アク

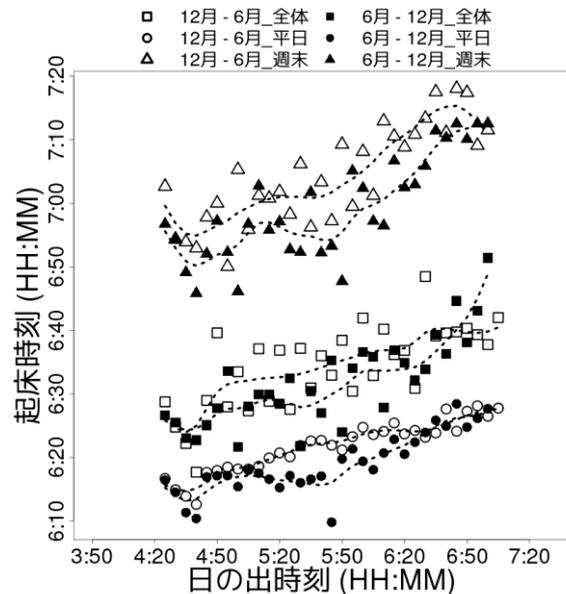


図4 夏至と冬至でデータを二分した場合の、日の出時刻ごとの起床時刻
夏至から冬至（黒塗り：秋季）と冬至から夏至（白抜き：春季）の二つの期間にデータを分けた、日の出時刻5分ごとの平均起床時刻。平日（丸）、週末（三角）、平日と週末（四角）のどのパターンでも夏至から冬至の気温の高い期間で平均起床時刻が早い。

チグラフを用いて計測したもので、中でも、San と Tsimane は緯度が近いこと、似たような光周期の変動であるが(1日の日の長さは13時間と12.9時間)、夏期の計測において、起床時刻が約2.4時間も異なっていた。Yetishらはこれらの差は就寝中の気温変動に伴う、体温上昇タイミングの差であると考察しており、起床のタイミングに温熱環境の変動が影響していることを示唆している⁴¹。

筆者らが、非接触型の睡眠計を用いて収集したデータにおいても、夏至から冬至と冬至から夏至の二つに季節を二分した場合、同じ日の出時刻における起床時刻は季節で異なり、春よりも秋の方が早く起床することが明らかになった。これらは同様の日の出時刻であるが、外気温は異なることから、高度に情報化された社会においても光環境以外の変動が睡眠覚醒サイクルに影響を及ぼしていることを示唆している(図4)⁴⁰。古来、「春眠暁を覚えず」と言われるが、実際、春の方が目覚めが遅れることが客観的なデータでも示されたことは興味深い。

4. おわりに

現在、多くのヒトが生活している高度に情報化された社会においても自然環境の変化に睡眠覚醒サイクルが影響を受けていることが明らかになった。しかし、いくつものデータが、この外的な環境変化によってもたらされる睡眠の季節変動よりも、社会的な時間の制約によって生じる変化の方が大きいことを示している。遺伝にその基盤を持ち、時間の指向性を示すクロノタイプは個体の生活リズムを左右する要因の一つであるが、現代の画一的な社会のスケジュールは個体のリズムとの不調和を生み出し、様々な心身の問題を引き起こすリスクとなりうる。働き方改革による個体の生産性の向上が求められているが、夜型化・24時間化が進んでいる現代社会において、安定した睡眠覚醒サイクルを維持することの大切さと、個体の多様性を受け入れられるしくみの整備に向けて、日常生活環境下におけるヒトの睡眠覚醒サイクルとそれらのQOLへの影響に対するより深い理解が重要になってくると考える。

参考文献

1. Khalsa, S. B. S., Jewett, M. E., Cajochen, C. & Czeisler, C. A. A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J. Physiol.* **549**, 945–952 (2003).

2. Haskell, E. H., Palca, J. W., Walker, J. M., Berger, R. J. & Heller, H. C. The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* **51**, 494–501 (1981).
3. Muzet, A., Libert, J. P. & Candau, V. Ambient temperature and human sleep. *Experientia* **40**, 425–429 (1984).
4. Tsuzuki, K., Okamoto-Mizuno, K. & Mizuno, K. Effects of humid heat exposure on sleep, thermoregulation, melatonin, and microclimate. *J. Therm. Biol.* **29**, 31–36 (2004).
5. Okamoto-Mizuno, K., Tsuzuki, K. & Mizuno, K. Effects of mild heat exposure on sleep stages and body temperature in older men. *Int. J. Biometeorol.* **49**, 32–36 (2004).
6. Nishitani, N., Sakakibara, H. & Akiyama, I. Short sleeping time and job stress in Japanese white-collar workers. *Open Sleep J.* **6**, 104–109 (2013).
7. Roenneberg, T., Wirz-Justice, A. & Mrosovsky, M. Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. *J. Biol. Rhythms* **18**, 80–90 (2003).
8. Roenneberg, T. *et al.* Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Med. Rev.* **11**, 429–438 (2007).
9. Hashizaki, M. *et al.* Accuracy validation of sleep measurements by a contactless biomotion sensor on subjects with suspected sleep apnea. *Sleep Biol. Rhythms* **12**, 106–115 (2014).
10. Hashizaki, M., Nakajima, H. & Kume, K. Monitoring of weekly sleep pattern variations at home with a contactless biomotion sensor. *Sensors (Switzerland)* **15**, 18950–18964 (2015).
11. Kitamura, S. *et al.* Estimating individual optimal sleep duration and potential sleep debt. *Sci. Rep.* **6**, 35812 (2016).
12. Yang, C. M. & Spielman, A. J. The effect of a delayed weekend sleep pattern on sleep and morning functioning. *Psychol. Health* **16**, 715–725 (2001).
13. Taylor, A., Wright, H. R. & Lack, L. C. Sleeping-in on the weekend delays circadian

- phase and increases sleepiness the following week. *Sleep Biol. Rhythms* **6**, 172–179 (2008).
14. Yang, C. M. *et al.* A single dose of melatonin prevents the phase delay associated with a delayed weekend sleep pattern. *Sleep* **24**, 272–281 (2001).
 15. Crowley, S. J. & Carskadon, M. A. Modifications to weekend recovery sleep delay circadian phase in older adolescents. *Chronobiol. Int.* **27**, 1469–1492 (2010).
 16. Hasler, B. P. *et al.* Weekend-weekday advances in sleep timing are associated with altered reward-related brain function in healthy adolescents. *Biol. Psychol.* **91**, 334–341 (2012).
 17. Lee, Y. J., Park, J., Kim, S., Cho, S. J. & Kim, S. J. Academic performance among adolescents with behaviorally induced insufficient sleep syndrome. *J. Clin. Sleep Med.* **15**, 61–68 (2014).
 18. Soehner, A. M., Kennedy, K. S. & Monk, T. H. Circadian preference and sleep-wake regularity: associations with self-report sleep parameters in daytime-working adults. *Chronobiol. Int.* **28**, 802–809 (2011).
 19. Carney, C. E., Edinger, J. D., Meyer, B., Lindman, L. & Istre, T. Daily activities and sleep quality in college students. *Chronobiol. Int.* **23**, 623–637 (2006).
 20. Monk, T. H., Reynolds, C. F., Buysse, D. J., DeGrazia, J. M. & Kupfer, D. J. The relationship between lifestyle regularity and subjective sleep quality. *Chronobiol. Int.* **20**, 97–107 (2003).
 21. Zisberg, A., Gur-Yaish, N. & Shochat, T. Contribution of routine to sleep quality in community elderly. *Sleep* **33**, 509–514 (2010).
 22. Monk, T. H. *et al.* Circadian type and bed-timing regularity in 654 retired seniors: correlations with subjective sleep measures. *Sleep* **34**, 235–239 (2011).
 23. Manber, R., Bootzin, R. R., Acebo, C. & Carskadon, M. A. The effects of regularizing sleep-wake schedules on daytime sleepiness. *Sleep* **19**, 432–441 (1996).
 24. Roenneberg, T., Allebrandt, K. V., Mellow, M. & Vetter, C. Social jetlag and obesity. *Curr. Biol.* **22**, 939–943 (2012).
 25. Leproult, R., Holmbäck, U. & Van Cauter, E. Circadian misalignment augments markers of insulin resistance and inflammation, independently of sleep loss. *Diabetes* **63**, 1860–1869 (2014).
 26. Lee, Y. J., Cho, S. J., Cho, I. H. & Kim, S. J. Insufficient sleep and suicidality in adolescents. *Sleep* **35**, 455–460 (2012).
 27. Kang, S. G. *et al.* Weekend catch-up sleep is independently associated with suicide attempts and self-injury in Korean adolescents. *Compr. Psychiatry* **55**, 319–325 (2014).
 28. Kim, C. W. *et al.* Weekend catch-up sleep is associated with decreased risk of being overweight among fifth-grade students with short sleep duration. *J. Sleep Res.* **21**, 546–551 (2012).
 29. Hwangbo, Y., Kim, W. J., Chu, M. K., Yun, C. H. & Yang, K. I. Association between weekend catch-up sleep duration and hypertension in Korean adults. *Sleep Med.* **14**, 549–554 (2013).
 30. Kohsaka, M., Fukuda, N., Honma, K., Honma, S. & Morita, N. Seasonality in human sleep. *Experientia* **48**, 231–233 (1992).
 31. Honma, K., Honma, S., Kohsaka, M. & Fukuda, N. Seasonal variation in the human circadian rhythm: dissociation between sleep and temperature rhythm. *Am. J. Physiol.* **262**, R885–R891 (1992).
 32. Van Dongen, H. P., Kerkhof, G. A. & Klöppel, H. B. Seasonal covariation of the circadian phases of rectal temperature and slow wave sleep onset. *J. Sleep Res.* **6**, 19–25 (1997).
 33. Pallesen, S. *et al.* Prevalence of insomnia in the adult Norwegian population. *Sleep* **24**, 771–779 (2001).
 34. Ohayon, M. M. & Partinen, M. Insomnia and global sleep dissatisfaction in Finland. *J. Sleep Res.* **11**, 339–346 (2002).
 35. Janson, C. *et al.* Prevalence of sleep disturbances among young adults in three European countries. *Sleep* **18**, 589–97 (1995).
 36. Allebrandt, K. V. *et al.* Chronotype and sleep duration: the influence of season of

- assessment. *Chronobiol. Int.* **31**, 731–740 (2014).
37. Roenneberg, T., Kumar, C. J. & Mrosovsky, M. The human circadian clock entrains to sun time. *Curr. Biol.* **17**, R44–R45 (2007).
38. Friberg, O., Bjorvatn, B., Amponsah, B. & Pallesen, S. Associations between seasonal variations in day length (photoperiod), sleep timing, sleep quality and mood: A comparison between Ghana (5°) and Norway (69°). *J. Sleep Res.* **21**, 176–184 (2012).
39. Okamoto-Mizuno, K. & Tsuzuki, K. Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly. *Int. J. Biometeorol.* **54**, 401–409 (2010).
40. Hashizaki, M., Nakajima, H., Shiga, T., Tsutsumi, M. & Kume, K. A longitudinal large-scale objective sleep data analysis revealed a seasonal sleep variation in the Japanese population. *Chronobiol. Int.* in Press. (2018).
41. Yetish, G. *et al.* Natural sleep and its seasonal variations in three pre-industrial societies. *Curr. Biol.* **25**, 2862–2868 (2015).