

第1章 活動量への影響解析

水野 康¹

1. 背景・目的

ヒトは昼行性の動物であり、日中に活動し、夜間に睡眠をとるという活動の概日リズムを有している。活動の概日リズムは、季節の影響を受けることが知られており、日照時間が長く、気温が高い夏季には夜間睡眠時間が短縮し、その逆の冬季には夜間睡眠時間が延長する⁹⁾。この季節変動の原因となる日照時間の変化は、緯度の上昇とともに顕著となり、緯度が66.6度以上の高緯度地域では、冬は日の上らない極夜、夏は日の沈まない白夜の時期が発生する。北欧などに代表されるこれらの地域では、冬季の光曝露不足に起因する季節性の感情障害 (seasonal affective disease) や、夏季には深夜まで外界が明るいことによる不眠の問題などが報告されている⁷⁾。

最も緯度の高い南極では、日照時間の季節変動の他、低温、遠隔地、基地内の限られた空間で少人数グループが長期間滞在することなど、さらに特異的な要因が加味される。このような環境は、航行中の原子力潜水艦内などと並んで長期宇宙滞在の模擬環境として認識されている。南極滞在中における睡眠・生体リズムを含む精神心理分野に関するこれまでの報告では、特に冬季の極夜期における気分の悪化⁸⁾、睡眠の質の低下^{2, 3, 8)}、睡眠リズムの夜型化(位相後退)^{2, 11)}などが認められている。

今回、50次および51次南極越冬隊員を対象に、南極越冬滞在中における睡眠・生体リズムの検討を目的とし、1)睡眠の主観評価、2)活動量の連続測定による睡眠・覚醒リズム評価、3)24時間ホルター心電図、および4)簡易脳波計による睡眠段階判定という4つの指標から評価を試みた。本研究では、これら測定指標の中から、1)および2)の結果について述べるものとする。

2. 方法

1)対象

被第50次および51次南極越冬隊から協力者の募集を行い、それぞれ6名(男性5名、女性1名)の同意を得た。南極越冬隊出発前における年齢、身長、体重、およびBMIをTable 1に示す。

2)測定手順

測定は、各南極越冬隊が昭和基地に滞在した2月～翌年の2月の中で、3月、6月、9月、12月に実施した。睡眠・生体リズム評価として、1)睡眠の主観評価(ここ1ヶ月の睡眠を振り返って回答)、2)活動量の連続計測(1週間)による睡眠・覚醒リズム評価、3)24時間ホルター心電図(1日)、および4)簡易脳波計による睡眠段階判定(1夜)を行い、2)の1週間の計測期間中に3)および4)、計測期間中の最終日もしくはその前後に1)を実施した。なお3)および4)については、他の章に記す。

測定は、各越冬隊の医療担当隊員(2名)に機器の準備や操作、調査票の配布・回収等を依頼

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙医学生物学研究室

し、実施状況や不具合の発生、データの送付など、電子メールを介して行った。

各隊において対象 1 名は越冬中に夜勤に従事しており、50 次隊では 9 月、51 次隊では 6 月と 9 月の測定が夜勤従事中のデータ取得となった。

3) 測定項目

(1) 睡眠健康調査¹⁰⁾

ここ 1 ヶ月の睡眠について回答する睡眠の主観評価法である。14 項目の質問から、睡眠維持、睡眠随伴症、睡眠時呼吸障害、寝つき、目覚めの睡眠健康 5 因子について、日本人成人を母集団とする標準得点が求められる。

(2) 活動量計測による睡眠・覚醒リズム評価

覚醒から睡眠に至る活動量の変化から睡眠・覚醒を推定し、入眠や起床時刻から睡眠・覚醒リズムを評価する方法が開発されている。本研究では、50 次隊については、非利き腕に装着する腕時計型の活動量計(AMI 社製、アクチグラフ Basic)⁴⁾を用いたが、乾燥による静電気が原因と考えられる不具合、屋外作業中の紛失などの問題が発生した。このため 51 次隊では、代替機器として、(株)スズケン製のライフコーダーGS を用い、(株)キッセイコムテック製の解析ソフト⁵⁾を用いて睡眠・覚醒リズムの評価を行った。なお、前者は睡眠・覚醒判定が 1 分毎であるのに対し、後者は 2 分毎とデータの解像度が低い。一方、後者は、本来、歩数や消費カロリーの推定に開発された機器であり、睡眠・覚醒判定に加え、アクチグラフから得られないこれらのデータが取得される。

得られた睡眠・覚醒判定結果から、入眠～起床までの就床時間(Time in bed: TIB)、就床時間の中間点(Mid point)、就床時間中で睡眠と判定された時間の割合(睡眠効率)を求め、これらについて、装着期間 1 週間の平均値を求めた。また、TIB および Mid point については、1 週間の標準偏差を求め、それぞれ就床時間の不規則性、および就床時間帯の不規則性、を表す指標とした。

4) 活動量計測に関する得られたデータおよびデータ欠損状況

50 次隊では、6 人×4 回のデータ取得機会の中で、3 月、9 月、12 月に各 1 人、それぞれ別の被験者でアクチグラフの不具合が発生し、データが欠損した。この結果、4 回分のデータが得られたのは 3 人のみとなり、この 3 人中 1 人は 9 月のデータ取得が夜勤従事中であった。

51 次隊では、データ欠損は無かったものの、一般に健常成人で 90%以上を示す睡眠効率が 80%近傍から、約 60%と低値を示す被験者が 3 名認められた。活動量計測期間中の 1 夜、簡易脳波計を用いた睡眠段階判定が行われたが、その結果では、これら 3 名の睡眠効率はより高い数値が認められた。したがって、ライフコーダーの活動量から求められる睡眠・覚醒判定は、被験者により脳波上の睡眠時にも覚醒と判定されやすいことが確認された。

以上から、被験者総数は 12 名であったが、活動量計測結果についてはデータ欠損や使用機器の相違などから、全体を統計解析するには十分な条件に無く、本稿では個別および全体の変化の傾向について記すこととした。なお睡眠健康調査の 5 因子(12 名分)およびライフコーダーから得られた一日あたりの推定消費カロリー(51 次隊の 6 名分)については、季節を要因とする対応ありの一要因分散分析を行い、有意性が認められた場合には、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

3. 結果

1) 睡眠健康調査

Fig.1 に睡眠健康 5 因子の標準得点を示す。分散分析の結果から、いずれの因子についても有意な季節の影響は認められなかった。睡眠維持の得点では、12 人計 48 回の結果中、日本人成人の標準値である 50 点を下回ったのは、3 人の計 6 回のみであり、概ね良好な値が示された。睡眠随伴症の得点は 8 人が 4 回とも 62 点、他の 4 人も 54 点～62 点の高値を示した。なお、51 次隊の 1 名から夜勤経験時(6 月)における“かなしばり”体験の申告があった。睡眠時呼吸障害の得点では、50 次隊では 2 人、51 次隊では 3 人の男性隊員から 30～38 点の低値が認められた。寝つきの得点は概ね良好であり、一人の 12 月の値(48 点)を除き、55～69 点の高値が認められた。一方、目覚めの得点は個人差が大きく、半数の 6 人が一貫して 60～66 点の高値を示したのに対し、1 名は 6 月、もう 1 名は 9 月の冬季に 41 点という低値を示した。

2) 活動量計測による睡眠・覚醒リズム評価

Fig.2 に活動量計測から求められた TIB、Mid point、睡眠効率、および TIB と Mid point の各標準偏差を示す。TIB は最短で平均約 4 時間半、最長で平均約 9 時間となり、最長の TIB は夜勤従事時の結果であった。Mid point は、3 月から 6 月にかけて全員が平均約 1 時間遅延したが、6 月以後の変化には個人差が認められた。なお夜勤時の Mid point は、日勤者のそれよりも 4～5 時間遅かった。睡眠効率は、機器の相違により、概ね 90%以上の値が得られた 50 次隊に比して、51 次隊では 3 名から 60～80%の低値を示したが、季節の影響と思われる変化は認められなかった。睡眠時間(長さ)および睡眠時刻(タイミング)の不規則性の指標として求めた TIB および Mid point の標準偏差も個人差が大きく、季節にの影響は認められなかった。なお、6 月と 9 月が夜勤従事中であった 51 次隊の隊員(▲)は、3 月と 12 月を含めて他の隊員よりも際立って Mid point の標準偏差が大きかった。3 月に計測したアクチグラフ記録 2 例(不規則な○と規則正しい*)を Fig.3 に示す。

3) エネルギー消費量

Fig.4 に 51 次隊の活動量計測から求められた 1 日あたりの推定消費カロリーの変化を示す。個人差はあるものの、冬季である 6 月と 9 月に全員が低値を示し、分散分析の結果、有意な季節の影響($F_{(3)}=25.9$, $p<0.001$)、および、多重比較検定により、6 月と他の月、および 9 月と 12 月の結果の間に有意差($p<0.05$)が認められた。

4. 考察

適正な睡眠および生体リズムの維持は健康な生活の基盤であり、これらに問題を抱えると、心身の様々な側面に悪影響の及ぶことが知られている。今回、南極越冬生活中における睡眠および生体リズムを、1)主観評価(ここ1ヶ月について回答)、2)活動量の連続計測による睡眠・覚醒リズム評価(1週間計測)、3)24時間ホルター心電図、および4)簡易脳波計による睡眠段階判定(1夜)という種々の指標から検討し、本稿では1)および2)の結果を示した。これらの結果は、いくつかの部分的な例を除いて概ね正常域にあり、睡眠・生体リズムが関与する健康被害や事故等の発生リスクは比較的低かったことが考えられる。睡眠・生体リズムの問題を示唆する例として、主観評価における睡眠維持(1名が12月に36点)、目覚め(6月および9月に各1名が41点)、および呼吸(4回の測定機会中、30~38点の低値を1~4回示した隊員が5名)と、活動量計測から求めた夜間睡眠効率の低値(4回の測定機会とも、85%以下の低値を示した隊員が3名)が認められた。この中で、南極越冬の影響が考えられるものは、主観評価の睡眠維持および目覚めの得点の低値であり、前者は帰還前業務の多忙によるもの、後者は白夜や日の出時刻の遅延に伴う季節性の変化が増長した可能性が考えられる。なお前者の12月のアクチグラフによる客観評価では、1週間平均のTIBが6時間39分、睡眠効率が96%とほぼ良好な値であり、アクチグラフの結果には現れない交感神経緊張などによる不眠感や、アクチグラフ測定期間以外の睡眠に問題のあった可能性などが考えられる。呼吸の低得点については、睡眠時無呼吸の可能性も疑われるが、低得点を示した全員が滞在開始第1回目の3月の段階で低値を示しており、滞在前から低値であった可能性が高い。

活動量測定 of 機器として、50次隊では腕時計型のアクチグラフ、51次隊では歩数計であるライフコーダーを用いた。機器変更の理由は、静電気や寒冷環境などに起因する何らかの不具合によるアクチグラフのデータ欠損であり、1週間の計測後、データのダウンロード時に初めてデータ欠損の状況が判明するという操作上の問題も機器変更の理由となった。一方、アクチグラフから得られたデータは、睡眠・覚醒の判定において信頼性の高いことをうかがわせるものであったが、51次隊で使用したライフコーダーは、データ欠損は無いものの、3名から60~80%という低い睡眠効率が認められた。この結果は、同時に測定した簡易脳波計による睡眠段階判定結果と照らしても低く、ライフコーダーによる睡眠・覚醒判定では、何らかの理由により、睡眠を覚醒と誤認する対象が発生する可能性が考えられた。睡眠ポリグラフとアクチグラフの睡眠・覚醒判定の一致率は、いくつかの文献から概ね90%と言われている¹⁾。これに対し、本来、消費カロリーや歩数等の測定目的で作られたライフコーダーの結果から睡眠・覚醒を推定するアルゴリズムを開発し、その妥当性を検証した論文⁵⁾では、睡眠ポリグラフとの一致率が86.9%となっている。この根拠、および消費カロリーの推定も可能なことなどの点から51次隊でライフコーダーを用いたが、装着部位が腰部であること、内部の加速度計の配置が2軸であること(アクチグラフは3軸)など、睡眠・覚醒判定への汎用性については精度の点から注意が必要かもしれない。

南極越冬中の睡眠・生体リズムを含む精神心理を検討した先行研究によると、研究間で結果の不一致も認められるが、冬季の極夜期における気分の悪化、睡眠の質の低下、および睡眠位相の後退などが報告されている²⁾。本研究では、全員から一貫して認められた変化は、3月から6月にかけてのMid pointの遅延と推定消費カロリー(51次隊のみ測定)の有意な低下のみであり、

冬季にあたる6月および9月に主観評価の寝つきや睡眠維持が低下したり、活動量測定から求められる夜間中途覚醒が増加するなどの変化は認められなかった。これらから考えると、南極越冬中の冬季における高照度光の欠如は、睡眠の質の低下や気分の悪化などのリスクを上げるが、日中の活動内容や対象本人の性格傾向などにより、その応答には個人差のあることが考えられる。

3月から6月にかけて、夜勤者を除く全員のMid pointが約1時間遅延したが、これは1日の生活スケジュールの変更によるものと思われる。南極越冬隊では、5-8月が冬日課、それ以外の期間が夏日課であり、朝食と業務開始が前者では8時と9時、後者では1時間早い7時と8時に定められている。3月から6月にかけてのMid pointの変化は、日照時間の短縮の影響よりも、この人為的な生活スケジュールの変化を反映したものと言える。興味深いのは9月のMid pointであり、生活スケジュールは夏日課に復したにもかかわらずMid pointの変化には個人差が生じ、さらに遅延した対象が2名、6月とほぼ同値を示した対象が2名認められた。この原因は不明だが、南極滞在期間の延長とともに生体リズムの個人差が顕在化し、規定の生活スケジュールから逸脱傾向を示す隊員が現れる可能性を考えると、特に越冬滞後半の冬日課から夏日課への切り替え時に生活リズムの統制を図る工夫が必要かもしれない。

ライフコーダーから得られた51次隊隊員の推定消費カロリーは、3月から6月にかけて平均約200kcal/日低下して4回の測定中で最低となり、この時期の活動量の低下が考えられた。冬季うつ病では、一般のうつ状態と異なり、食欲の増加や炭水化物嗜好の亢進などを特徴とする⁶⁾。本研究で認められた6月の活動量低下に加え、食事等によるカロリー摂取量の増加が加わると、体重増加や肥満のリスクが懸念される。今回、詳細な体重測定は行わなかったが、睡眠健康調査票の回答項目に記載された体重では、3月、6月、9月、12月の平均値が、それぞれ78.8±15.1kg、77.5±14.0kg、77.6±13.7kg、77.5±13.2kgであり、変化は無かった。したがって、活動量低下分を見込んだ何らかの摂取カロリーの調整が図られたものと思われる。

以上、本稿では、南極越冬中における睡眠の主観評価、および活動量の連続計測による睡眠・覚醒リズム評価の季節変動を示したが、これらに全員から一貫して認められる問題点は認められなかった。このことは、50次以上にも及ぶ南極越冬経験の蓄積から、越冬中に発生しうる問題を回避する方策が取られていることを示唆している。朝のスケジュールを1時間遅らせる冬日課もその一つと考えられ、日の出の遅延・消失による生体リズムの夜型化に合わせた方策と考えられる。また推定消費カロリーは、極夜を迎える6月に有意に低下したが、体重増加は認められなかった。このことも、冬季における活動量の低下や肥満のリスクに関する事前の情報提供や学習を介した個人的な食事摂取の調整などによることが考えられる。越冬中における医学的問題や医療体制は出国前の段階で認識されており、隊員の選抜過程を含め、安全で健康な越冬を達成するための様々な準備・配慮が睡眠問題についても効力を果たしているものと思われる。

5. まとめ

約1年間の南極越冬滞在中における睡眠・生体リズムの検討を目的とし、1)睡眠の主観評価、2)活動量の連続測定による睡眠・覚醒リズム評価について、滞在開始から、3月、6月、9月、12月にデータ取得を行った。睡眠の主観評価では、越冬開始前からと考えられる睡眠時呼吸障害の低得点が12人中5人の男性隊員で認められたが、それ以外の睡眠維持、睡眠随伴症、寝つき、目覚めの得点では有意な変化は無く、一部の例を除いてほぼ良好な状態が認められた。活動量から求めた睡眠・覚醒リズムでは、3月から6月にかけて朝食および始業時間が1時間遅いスケジュールに変更されたことに伴い、夜間就床時間(Time in bed)の中間点(Mid point)が約1時間遅延した。一方、6月から9月にかけて、朝食および始業時間は3月の状態に戻されたが、この際のMid pointの変化には個人差が生じ、12名中4名の隊員はMid pointの早期化が認められなかった。51次隊の6人で測定した活動量から求めた推定消費カロリーでは、3月から6月にかけて平均約200Kcal/日の有意な低下が認められたが、体重には変化がなかった。先行研究で報告されている冬季における気分の悪化や睡眠の質の低下、肥満のリスクなどは、事前にこの問題がある程度認識されており、朝食時刻を1時間遅らせるスケジュールや、各隊員の自律的な対応により問題が回避されている可能性が考えられた。

【参考文献】

1. Ancoli-Israel, S., Cole, R., Alessi, C., Chambers, M., Moorcroft, W. and Pollak, C. P.: The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep*, 26, 342-392, 2003.
2. Arendt, J.: Biological rhythms during residence in polar regions. *Chronobiol Int*, 29, 379-394, 2012.
3. Bhattacharyya, M., Pal, M. S., Sharma, Y. K. and Majumdar, D.: Changes in sleep patterns during prolonged stays in Antarctica. *Int J Biometeorol*, 52, 869-879, 2008.
4. Cole, R.J., Kripke, D.F., Gruen, W., Mullaney, D.J. and Gillin, J.C.: Automatic sleep/wake identification from wrist activity. *Sleep*, 15, 461-469, 1992.
5. Enomoto, M., Endo, T., Suenaga, K., Miura, N., Nakano, Y., Kohtoh, S., Taguchi, Y., Aritake, S., Higuchi, S., Matsuura, M., Takahashi, K. and Mishima, K.: Newly developed waist actigraphy and its sleep/wake scoring algorithm. *Sleep and Biological Rhythms*, 7, 17-22, 2009.
6. Magnusson, A. and Partonen T.: The diagnosis, symptomatology, and epidemiology of seasonal affective disorder. *CNS Spectr*, 10, 625-634, 2005.
7. Ohayon, M. M. and Partinen, M.: Insomnia and global sleep dissatisfaction in Finland. *J Sleep Res*, 11, 339-346, 2002.
8. Palinkas, L. A., Houseal, M. and Miller, C.: Sleep and mood during a winter in Antarctica. *Int J Circumpolar Health*, 59, 63-73, 2000.
9. 白川修一郎、大川匡子、内山真: 日本人の季節による気分および行動の変化. *精神保健研究*, 39, 81-93, 1993.
10. Tanaka, H. and Shirakawa, S.: Sleep health, lifestyle and mental health in the Japanese elderly: ensuring sleep to promote a healthy brain and mind. *J Psychosom Res*, 56, 465-477, 2004.
11. Usui, A., Obinata, I., Ishizuka, Y., Okado, T., Fukuzawa, H. and Kanba, S.: Seasonal changes in human sleep-wake rhythm in Antarctica and Japan. *Psychiatry Clin Neurosci*, 54, 361-362, 2000.

Table 1 Subjects of the study

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI
50 th Exp.				
5 males and 1 female	41 ± 9.0	170 ± 9.7	71 ± 12.1	25 ± 2.8
51 st Exp.				
5 males and 1 female	39 ± 11.5	171 ± 6.6	79 ± 15.1	27 ± 3.3

One subject in each of 50th and 51st expedition was engaged in night shiftwork in September, and June and September, respectively.

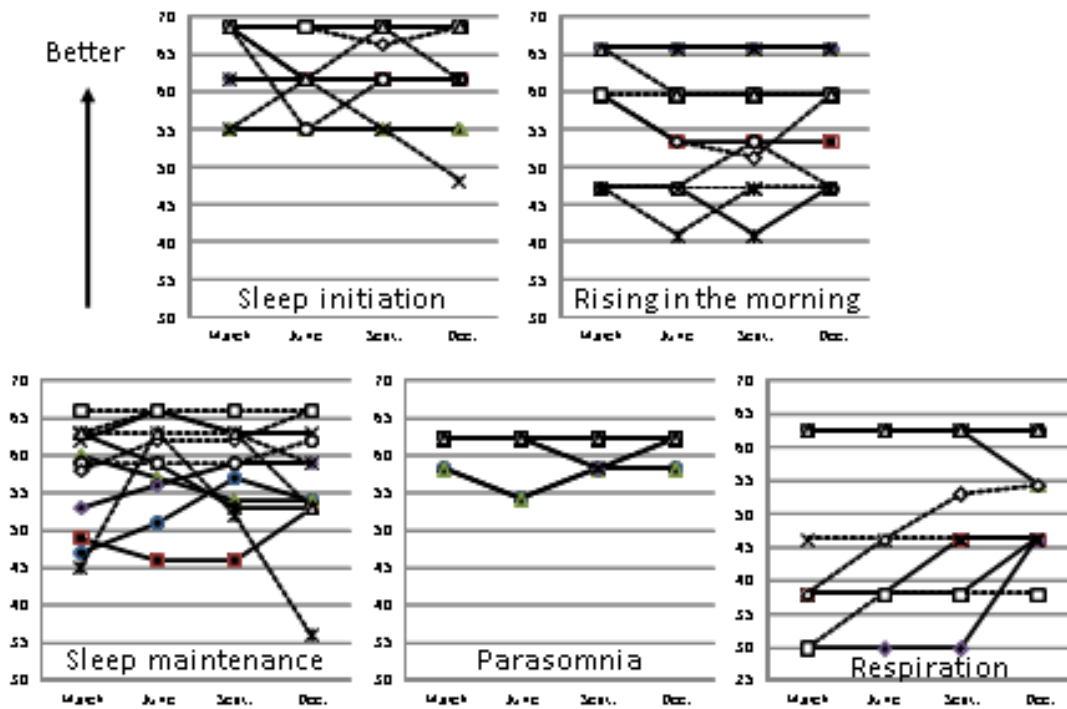


Fig.1 Seasonal changes in Sleep Health Questionnaire

Individual values are shown in T-scores based on Japanese adults.

Dotted line: 50th Exp.; Solid line: 51st Exp.

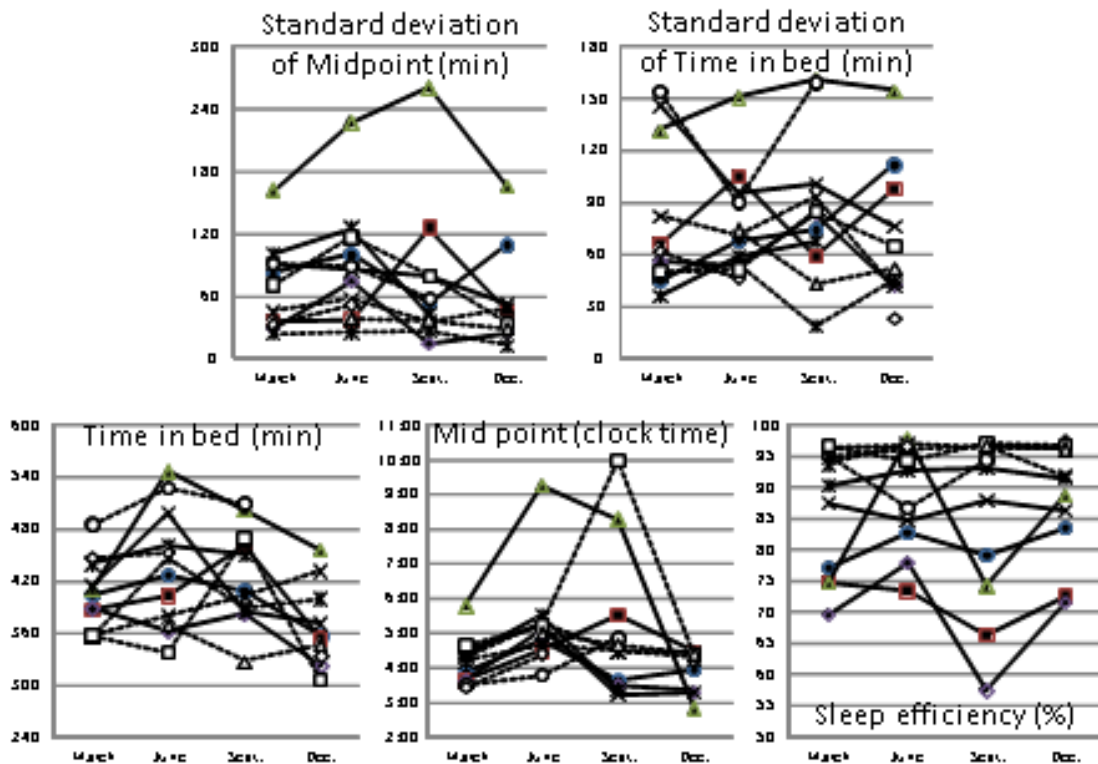


Fig.2 Seasonal changes in sleep parameters

Individual values are shown. Dotted line: 50th Exp.; Solid line: 51st Exp.

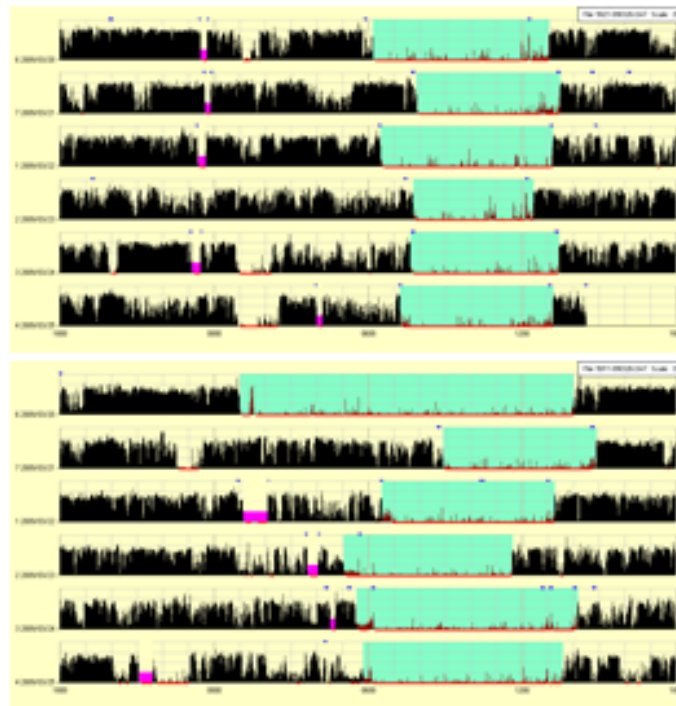


Fig.3 Two examples of actigraphic recordings in March

Upper panel and lower panel corresponds to
 --○-- and --*-- in Fig.2 and 3.

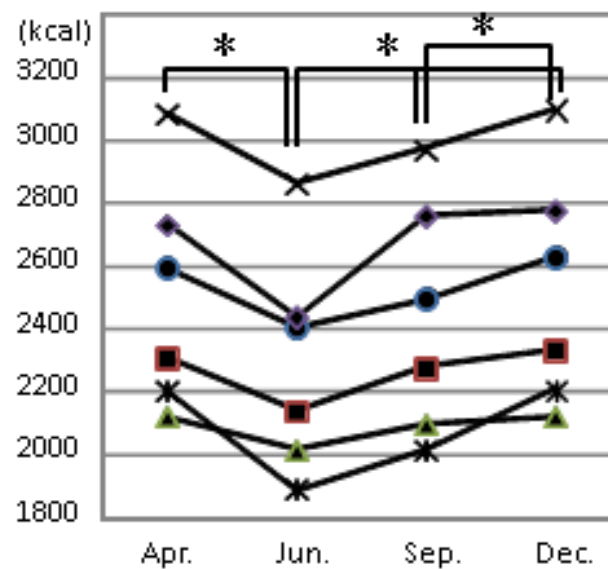


Fig.4 Seasonal changes in estimated energy expenditure

Individual values are shown. Significant seasonal effect ($p < 0.001$) was detected by one way ANOVA. * : $p < 0.05$ by posthoc analysis.