

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007 ～ 2008  
 課題番号：19770216  
 研究課題名（和文） 日常生活における光・温熱環境が及ぼすヒトの環境適応能への影響に関する研究  
 研究課題名（英文） Effects of light and thermal environments in the daily life on environmental adaptability in humans  
 研究代表者  
 戸渡（上野） 智子（UENO-TOWATARI TOMOKO）  
 福岡女子大学・人間環境学部・助教  
 研究者番号：80336966

研究成果の概要：本研究では、日常生活において曝される温熱・光環境について、年間を通じた実態調査を行うと同時に、唾液分析によりホルモン分泌量を測定し、環境要因と内分泌挙動との関係について検討を行った。その結果、温熱・光環境ともに内分泌挙動と有意な相関がみられ、特に光環境が内分泌挙動の変動に及ぼす影響については、短期の光曝露履歴が個人内変動と関係し、長期的な光曝露履歴が個人間の差と関係することが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19 年度	2,400,000	0	2,400,000
20 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	270,000	3,570,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：人類学・生理人類学

キーワード：コルチゾール、メラトニン、環境適応能、サーカディアンリズム

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトにはおおよそ 24 時間周期の生体リズム(サーカディアンリズム)が備わっており、外部環境に適応しながら生きている。近年、種々の環境要因の中で、特に光がこの生体リズムに大きく影響することが明らかにされている[1]。例えば、早朝の 800lx の光への曝露は、朝の唾液中コルチゾール量増加に影響を与えるが、夕方の光曝露では影響がないことが確認されている[2]。高照度光への曝露が夜間の血中および尿中メラトニン分泌へ与える影響についていくつか報告されている[3-6]。これらの報告は、日中に高照度光を多く浴びることが、個人内で夜間のメラトニン分泌レベルを高めるのに効果的かもしれないことを示唆している。その一方で、交替制勤務などで夜間に高照度光を浴び続けると

生体リズムが崩壊し、健康被害のリスクを高める可能性も指摘されている[7, 8]。しかしながら現代の生活スタイルを考えると、我々はより多くの時間を温熱・光環境の調整が可能な室内で過ごし、日中に日光(高照度光)を浴びる機会が少なく、自然の光-暗周期に反して人工光により長い時間曝露される傾向にあることが予想される。

## 2. 研究の目的

睡眠に関連するホルモンとして知られるメラトニンは、日中に分泌量が少なく夜間に増加するサーカディアンリズムを示し、その分泌挙動は光曝露の影響を受けることが確認されている。また糖代謝等に関連するコルチゾールも早朝に分泌ピークを迎えるサーカディアンリズムをもち、その一方でストレ

スの影響を受け分泌量が増加することからストレスホルモンとも呼ばれる。光などの環境要因がこれらの分泌挙動に及ぼす影響について、実際の生活環境において長期的な調査を行った例は極めて少ない。そこで本研究では、年間を通じたフィールド調査を行い、日常生活において曝露される温熱および光環境の現状を把握するとともに、それらの環境とメラトニン・コルチゾール分泌挙動との関係について調べることを目的とし、内分泌挙動には単にその日1日の環境要因が影響するのか、あるいはより長期的な曝露履歴が影響するのか、内分泌挙動における個人間の違いと個人内の変動にはどのような環境要因が影響し得るのか、という点に着目し検討を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 被験者および調査期間

被験者は、事前アンケートにて、普段の就寝・起床時刻および月経周期がほぼ規則的であると回答した健康な女子学生（年齢20～22歳）とした。実験において6名、実験において10名を被験者とし、全員が非喫煙者であった。実験は2007年6月下旬～7月中旬（期間A）および9月下旬～10月（期間B）の2期間、実験は2008年1月～2月初旬（冬季）、4月～5月上旬（春季）、7月中旬～8月中旬（夏季）、10月（秋季）、11～12月（秋-冬季）の5期間において行った。

#### (2) 実験手順

##### 温熱・光環境の測定

被験者は各調査期間のうち7日間、温湿度記録計（ESPEC MIC社製）を携帯し、同時に非利き腕にActiwatch（Mini Mitter社製）を装着して日常生活を送ることにより、5分毎の温湿度および1分毎の受光量と活動量を記録した。この間、被験者は普段通りの生活を心がけるよう指示された。

##### アンケート

調査期間中、被験者は、就寝時刻、起床時刻、7日間の期間中で自然光を浴びた時間についてアンケート記入した。自然光を浴びた時間とは、調査期間中に被験者が屋外で自然光を浴びたと自覚する1日あたりの平均時間（天候は考慮しない）と考えるよう説明し、調査期間最終日に記入するよう指示した。

##### コルチゾールおよびメラトニン測定

各調査期間中のうち1日間の唾液を、唾液採取容器Salivette（SARSTEDT社製）を用いて採取させた。採取時間は10時、12時、16時、19時、翌1時、4時、7時とした。唾液採取日は、月経中を除く低温期とし、さらに実験では調査開始6日目とするよう指示した。被験者には唾液採取前夜からの薬、カフェイン、アルコール摂取を禁止し、唾液採取

日の食事および歯磨きは唾液採取直後の時間に済ませるよう指示した。回収後の唾液は-20℃にて保管後、唾液用コルチゾール分析キット（DRG社製）およびメラトニン分析キット（Bühlmann社製）を用いたELISA法による分析に供した。

#### (3) 統計検定

環境要因（温熱・光環境）データおよび内分泌（メラトニン・コルチゾール）測定値について、季節（調査期間）と時刻を要因とした二元配置分散分析を行い、季節に有意な主効果が得られた場合はBonferroni法による多重比較検定を行った。

アンケートにより得られた起床時刻、就寝時刻、自然光を浴びた時間について、季節差の有無を調べるため一元配置分散分析を行った。

環境要因と内分泌挙動との関係について調べるため、実験では、ピアソンの相関係数検定を用いた。実験では、2種類の統計学的手法により検定を行った。1つは多重回帰分析を用いて被験者内での年間変動を検討した。もう1つは、被験者の高照度光への曝露時間について、分散共分散行列に基づく主成分分析を行うことにより、個人毎の年間受光状況を主成分得点化した。さらに、得られた主成分を説明変数とし、内分泌データを目的変数としたステップワイズの変数選択法による重回帰分析により主成分回帰分析を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 実験

被験者周囲の平均気温・平均湿度は、期間Aにおいて27.1・67.0%、期間Bにおいて25.6・59.8%であった。期間Aは梅雨と重なり、期間Bの気温は例年より高かった。また、被験者が曝露された光の平均照度は2期間で時間帯により多少異なる傾向にあったものの、二元配置分散分析において有意な差は認められなかった。

環境要因と内分泌挙動との関係については、2期間に共通する有意な相関がみられ、測定を行った7日間の日中における高照度光（5000lx）への曝露時間と唾液中メラトニン量との間に有意な負の相関が認められた（ $r = -0.74 \sim -0.86$ ,  $p < 0.05$ ）。これらメラトニン分泌量との相関は、唾液採取日だけの受光履歴についてはみられなかった。

以上の結果をふまえ、続いて実験では調査期間として光環境・温熱環境ともに四季を象徴するような時期を選択し、各期間についてフィールド調査を行った。季節間の比較を行うだけでなく、個人差および個人内の変動について検討することを試みた。

(2) 実験

被験者周囲の温熱環境

Fig. 1 に冬季～秋季の四季における被験者周囲の平均気温推移を示す。二元配置分散分析の結果、季節間において有意な主効果〔 $F(3,27)=112.180, p < 0.001$ 〕および季節と時刻の間に交互作用〔 $F(69,621)=5.115, p < 0.001$ 〕がみられた。多重比較検定において全ての季節間に有意な差があり ( $p < 0.01$ )、気候の季節変動に伴う変化が確認された。

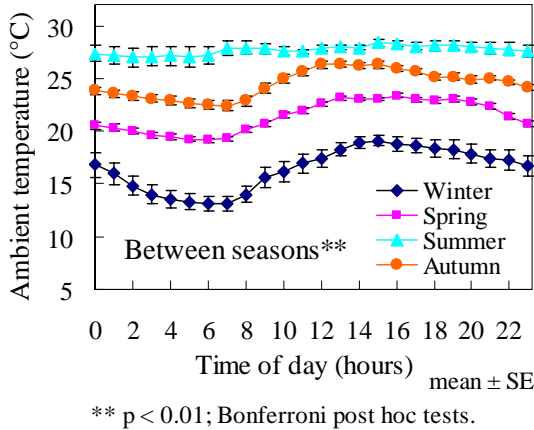


Fig. 1 Air temperature around subjects ( $n=10$ )

活動量の時間推移

Fig. 2 に四季における被験者の平均活動量を示す。二元配置分散分析により季節間に有意な主効果〔 $F(3,27)=4.253, p < 0.05$ 〕および季節と時刻との間に交互作用〔 $F(69,621)=1.487, p < 0.01$ 〕が認められた。冬季の活動量は他の季節に比べて少ない傾向にあったが、多重比較検定において有意な差は認められなかった。

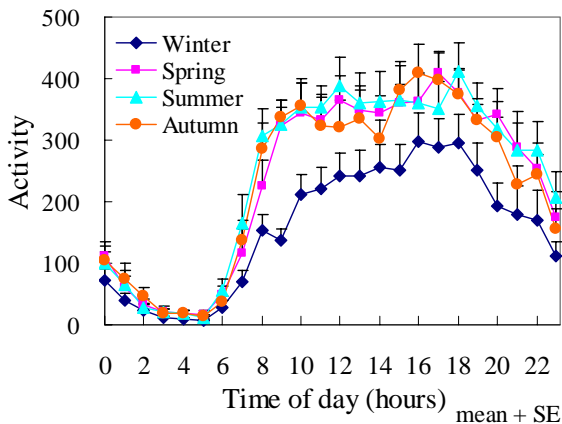


Fig. 2 Mean activity levels on subjects ( $n=10$ )

日常生活下における受光履歴

Fig. 3 に被験者が四季において曝露された光の平均照度を示す。二元配置分散分析では季節間に有意な主効果〔 $F(3,27)=5.093, p < 0.01$ 〕および季節と時刻の間に有意な交互作用〔 $F(69,621)=1.891, p < 0.01$ 〕が認められ、

多重比較検定において冬季と夏季 ( $p < 0.05$ )、冬季と秋季 ( $p < 0.01$ ) に有意な差が認められ、活動量の結果と同様に冬季は受光量においても他の季節より少ない傾向にあることが示唆された。

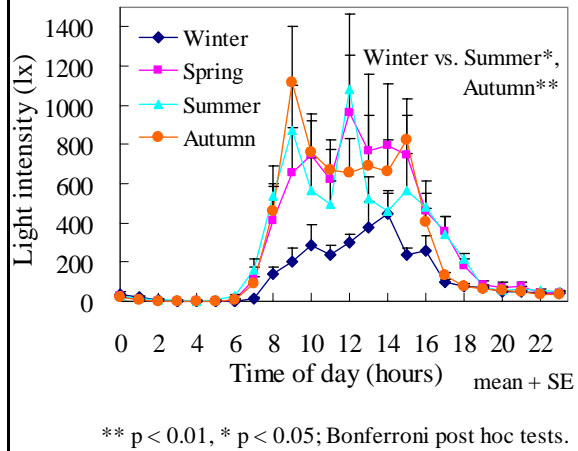


Fig. 3 Mean light intensity that subjects were exposed ( $n=10$ )

アンケート結果

四季におけるアンケートの集計結果を Table 1 に示す。一元配置分散分析において、就寝時刻、起床時刻、自然光を浴びた時間において、いずれも季節間に有意な差は認められなかった。被験者が自然光を浴びたと自覚する時間は、全ての季節において平均1時間程度であるという実態が明らかとなった。

Table 1 Questionnaire results ( $n=10$ )

	Winter	Spring	Summer	Autumn
Time in bed	0:57 ± 41min	0:47 ± 32min	0:57 ± 52min	0:40 ± 62min
Wake up time	8:09 ± 52min	7:53 ± 58min	7:45 ± 44min	7:57 ± 37min
Exposed time to natural daylight	59min ± 29min	1h26min ± 77min	1h01min ± 47min	1h13min ± 53min

mean ± SD

コルチゾールおよびメラトニン分析結果

Fig. 4 に唾液中コルチゾールおよびメラトニン測定値の平均を示す。コルチゾールは、朝7時頃に高い値となるサーカディアンリズムが認められた。二元配置分散分析の結果、季節間に有意な主効果〔 $F(3,27)=7.209, p=0.001$ 〕が認められ、多重比較検定では、冬季と夏季 ( $p < 0.05$ ) および秋季 ( $p < 0.05$ ) との間に有意な差が認められ、冬季のコルチゾール分泌量が全体的に他の季節よりも低いという傾向が示された。

メラトニンは、日中に値が低く夜間に増加する一般的なサーカディアンリズムが認められ、夏季において夜間の分泌量が多い傾向にあったものの、値の個人差が大きかった。二元配置分散分析において季節間に有意な

主効果〔 $F(3,27)=3.245, p=0.037$ 〕が認められたが、多重比較検定において各季節間に有意な差はなかった。

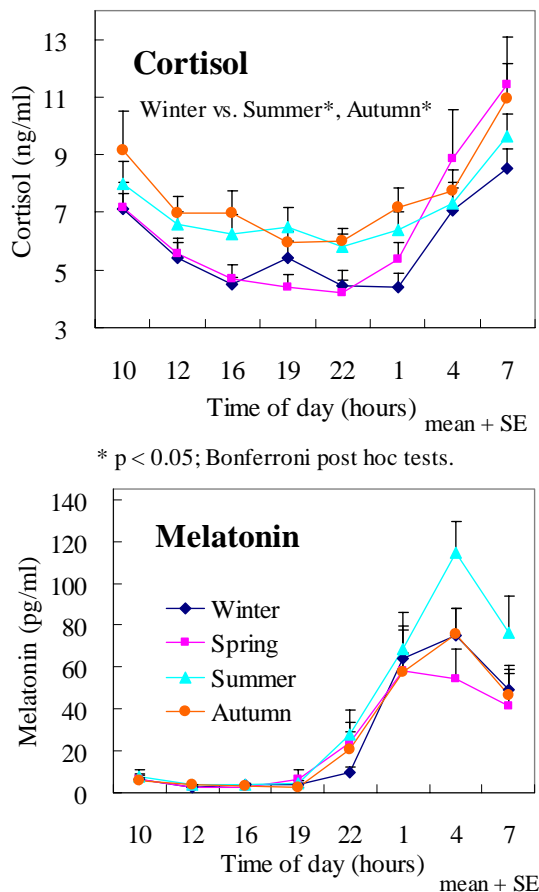


Fig. 4 Cortisol and melatonin rhythms ( $n=10$ )

#### 環境要因と内分泌挙動との関係

被験者内での変動を調べるため、内分泌データを目的変数、環境要因データを説明変数として多重回帰分析を行った。また、糖新生に關係するコルチゾールについては、活動量との關係についても検定した。検定には5つの調査期間(冬・春・夏・秋・冬季)によるデータを使用し、被験者は自由度9の分類変数として扱い、分析の有意性は環境要因データの偏回帰係数のt検定により判断した[9]。

コルチゾールについて環境要因との關係について被験者内での変動を調べた結果、コルチゾール分泌の日内積算量(ng/ml)と唾液採取日の平均気温( $R=0.44, p<0.01$ )あるいは7日間の平均気温( $R=0.52, p<0.01$ )との間に有意な正の相関がみられた。活動量との關係については、唾液採取日と測定を行った7日間の平均活動量ともに、コルチゾール値との間に有意な相関はみられなかった( $p=0.2$ )。これらのことから、気温が高いほどコルチゾール分泌量も多いことが示された。コルチゾール分泌量に季節変動があることは、北欧での研究においていくつか報告

されている[10-12]が、その傾向は一貫していない。さらに、コンスタントルーチン条件においては、6名の男性における尿中コルチゾールのサーカディアン相に組織的な季節変動がないことが確認されている[13]。以上の報告は、周りの環境がコルチゾール分泌に影響を与え得る外部要因として働くことを示唆しているとも考えられる。一方、暑熱ストレスが内分泌挙動に与える影響について、Vangelovaら[14]は、平均32.7~47.3の環境に暑熱曝露されたガラス工場労働者の尿中コルチゾール値が、同じ工場働くコントロール群(平均29.0~32.7)と比較して有意に高いことを報告している。本研究における被験者の周りの温熱環境は、最も暑い夏季においても上記のガラス工場環境ほど高温ではないが、もしコルチゾール分泌が周囲の暑熱ストレスによって促進されるなら、夏季のような温熱環境も暑熱ストレスとしてコルチゾール分泌量に影響を与えるのかもしれない。

同様にメラトニンについて環境要因との關係を調べた結果、気温との相関はみられなかった( $p=0.2$ )が、照度データとの間に有意な相関關係が認められた。測定を行った7日間および唾液採取日の各照度(500・1000・5000・10000 lx)に対する被験者の曝露時間(min)と、メラトニン分泌の日内積算量(pg/ml)とについて検定した結果をTable 2に示す。唾液採取日の受光データにおいて、500・1000・5000・10000 lxの光への曝露時間が長いほどメラトニン日内積算量が少ないという、有意な負の相関( $R=-0.31\sim-0.49, p<0.05$ )があったのに対し、7日間の受光履歴を平均したデータについては相関關係がみられなかった。

Table 2 The correlation between total melatonin levels of one day and exposure time to light of each light intensity ( $n=10$ )

Light intensity	Mean exposure time during 7 days (min/day)		Exposure time on saliva sampling day (min)	
	p value	corr. coeff.	p value	corr. coeff.
100 lx	n.s.	-	n.s.	-
500 lx	n.s.	-	0.015	-0.377
1000 lx	n.s.	-	0.046	-0.314
5000 lx	n.s.	-	0.005	-0.431
10000 lx	n.s.	-	0.001	-0.490

これらの受光データを3時間毎に分類し、メラトニン日内積算量との關係をさらに詳細に調べた。有意な相関關係がみられたものをTable 3に示す。7日間の受光履歴を平均したデータについてはいずれも有意な相関はみられなかった。唾液採取日において、メ

ラトニン日内積算量と、日中あるいは夜間の時間帯における各照度の光への曝露時間との間に有意な負の相関がみられた ( $R = -0.35 \sim -0.54$ ,  $p < 0.05$ ).

以上のことから、個人内のメラトニン分泌量の変動にはその日の受光履歴が関係し、日中(9~18時)の中・高照度光(500・1000・5000・10000lx)への曝露だけでなく、夜間(18~24時)の光(100・500lx)への曝露履歴が複合的に影響していることが示唆された。

**Table 3 The correlations between total melatonin levels of one day and exposure time to each light every 3 hours using multiple regression analysis (n=10)**

Exposure time on saliva sampling day (min)			
Light intensity	Time of day (hours)	P value	Correlation coefficient
100 lx	18:00-21:00	0.005	-0.427
500 lx	15:00-18:00	0.016	-0.374
	21:00-24:00	0.025	-0.350
1000 lx	15:00-18:00	0.008	-0.407
5000 lx	15:00-18:00	0.001	-0.484
10000 lx	9:00-12:00	0.036	-0.329
	15:00-18:00	0.000	-0.538

次に、年間を通した高照度光への曝露時間とメラトニン分泌量との長期的な関係について、個人間の差に着目して分析を行った。まず、5つの調査期間(冬・春・夏・秋・秋-冬季)における高照度光(1000・5000・10000lx)への7日間の平均曝露時間データについて主成分分析を行うことにより、個人毎の年間を通した高照度光への受光状況を、総合的に表す指標を求めることを試みた。分散共分散行列に基づく主成分分析の結果、全ての高照度光条件において、第1主成分で50%以上の寄与率を示し、第3主成分までの累積寄与率は100%に近い値となった(Table 4)。第1主成分の係数についてみると、全てが正の数となり、高照度光への平均曝露時間が最も少ない冬において低い係数、平均曝露時間の標準偏差が最も大きい春において高い係数となった。これらのことから、第1主成分は年間を通した高照度光曝露の傾向の個人差を、より顕著に表す指標であると解釈できる。

続いて、主成分分析により得られた個人毎の各主成分得点を説明変数とし、同じく個人毎のメラトニン分泌日内積算量の年間平均を算出したものを目的変数とした回帰分析について検討を行った。主成分得点は累積寄与率が100%近くとなった第3主成分までを使用し、回帰分析はステップワイズ変数選択法による重回帰分析により行った。結果を

**Table 4 The results of principal component analysis of exposure time to bright light (1000・5000・10000 lx)**

	Exposure time (1000 lx)			Exposure time (5000 lx)			Exposure time (10000 lx)					
	mean ±SD (min)	Weight (PC 1)	Weight (PC 2)	Weight (PC 3)	mean ±SD (min)	Weight (PC 1)	Weight (PC 2)	Weight (PC 3)	mean ±SD (min)	Weight (PC 1)	Weight (PC 2)	Weight (PC 3)
Winter	19.9 ± 11.2	0.228	-0.155	-0.027	3.5 ± 2.1	0.057	-0.018	0.029	1.5 ± 1.8	0.043	-0.079	0.020
Spring	51.0 ± 36.7	0.710	-0.642	-0.049	19.1 ± 17.0	0.833	-0.540	0.015	9.8 ± 10.4	0.883	-0.453	-0.083
Summer	51.5 ± 25.2	0.445	0.356	0.512	15.7 ± 12.4	0.441	0.597	-0.581	6.3 ± 7.1	0.385	0.778	-0.373
Autumn	56.1 ± 27.7	0.374	0.469	-0.792	17.4 ± 9.6	0.277	0.384	0.806	7.7 ± 4.8	0.239	0.287	0.923
Autumn-winter	40.4 ± 22.6	0.333	0.466	0.328	8.5 ± 7.7	0.179	0.452	0.102	3.3 ± 2.8	0.111	0.318	-0.035
Contribution (%)	-	53.759	30.683	13.323	-	56.273	31.752	9.499	-	64.893	25.818	7.11
Cum. contribution (%)	-	53.759	84.442	97.765	-	56.273	88.025	97.524	-	64.893	90.711	97.821

Legend) PC 1: first principal component; PC 2: second principal component; PC 3: third principal component.

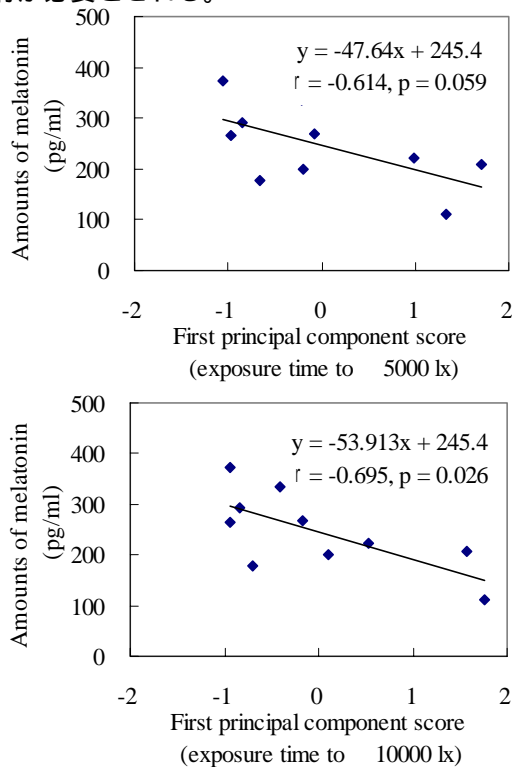
**Table 5 The relations between total melatonin levels of one day and exposure time to bright light (1000・5000・10000 lx) using stepwise multiple regression analysis**

		Regression coefficient	Standard regression	Correlation coefficient	F value	P value
Exposure time (1000 lx)	Constant	245.400	245.400		121.157	
	PC1 score	-40.058	-0.516	-0.516	2.905	0.127
Exposure time (5000 lx)	Constant	245.400	245.400		142.621	
	PC1 score	-47.640	-0.614	-0.614	4.838	0.059
Exposure time (10000 lx)	Constant	245.400	245.400		171.779	
	PC1 score	-53.913	-0.695	-0.695	7.462	0.026

Legend) PC 1: first principal component.

Table 5 に示す。全ての高照度光曝露時間データにおいて、選択された説明変数は第1主成分得点のみであった。さらに、10000 lx 曝露時間データにおいて有意な負の相関が認められ ( $p < 0.05$ )、5000 lx 曝露時間データにおいても同様に負の相関をもつ傾向にあった ( $p = 0.059$ )。これらの相関関係をプロットしたものを Fig. 5 に示す。これらのことから、メラトニン分泌量の個人差には、普段からの長期的な高照度光への曝露履歴が関係していると考えられる。

本研究で認められた有意な負の相関は、日中における高照度光への長時間の曝露が、メラトニンの夜間における分泌を高めるという以前の報告[3-6]とは異なる結果となった。しかし、本研究ではフィールド調査を行い、被験者が普段の生活の中で高照度光を浴びる時間は、施設内で行われる実験と比べて短いことも明らかとなった。普段の生活環境についてのより多くの実態調査と、日常生活における環境要因が与える内分泌の個人間および個人内変動への影響について、更なる検討が必要とされる。



**Fig. 5 The correlations between the first principal component score (exposure time to bright light) and amounts of melatonin ( $n=10$ )**

## REFERENCES

- [1] Küller R (2002) *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 21: 87-91
- [2] Scheer FA & Buijs RM (1999) *J Clin Endocrinol Metab*, 84: 3395-3398
- [3] Hashimoto S et al. (1997) *Neurosci Lett*,

221: 89-92

- [4] Mishima K et al. (2001) *J Clin Endocrinol Metab*, 86: 129-134
- [5] Park SJ & Tokura H (1999) *Chronobiol Int*, 16: 359-371
- [6] Takasu NN et al. (2006) *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 291: R1799-R1807
- [7] Davis S et al. (2001) *J Natl Cancer Inst*, 93:1557-1562
- [8] Schernhammer ES et al. (2001) *J Natl Cancer Inst*, 93: 1563-1568
- [9] Bland JM et al. (1995) *Brit Med J*, 310: 446
- [10] Küller R & Lindsten C (1992) *J Environ Psychol*, 12: 305-317
- [11] Küller R & Wetterberg L (1996) *Environ Int*, 22: 33-52
- [12] Hansen AM et al. (2001) *Clin Chim Acta*, 309: 25-35
- [13] Van Dongen HP et al. (1998) *Chronobiol Int*, 15: 623-632
- [14] Vangelova K et al. (2002) *Cent Eur J Public Health*, 10: 149-152

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Ueno-Towatari, T., Morita, T., and Ohnaka, T. Secretions of salivary melatonin and cortisol in Japanese healthy women, and their living environments., *9th International Congress of Physiological Anthropology/ Human Diversity: Design for Life*, 印刷中, 査読有

[学会発表](計2件)

Ueno-Towatari, T., Morita, T., and Ohnaka, T. Secretions of salivary melatonin and cortisol in Japanese healthy women, and their living environments., The 9th International Congress of Physiological Anthropology, August, 2008, Delft, the Netherlands

上野智子, 寺崎万里子, 仲野理美, 大中忠勝, 夏季における受光履歴とメラトニン分泌挙動との関連性(日本生理人類学会第57回大会, 2007年10月, 福岡)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

戸渡(上野) 智子 (UENO-TOWATARI TOMOKO)  
福岡女子大学・人間環境学部・助教  
研究者番号: 80336966