

幼稚園児の一週間モニタリング，睡眠挙動と活動量

白水重憲，片山宗哲，正木健雄

要旨 超小型の温度・加速度測定装置を作成し，世界で初めて，7日間に及ぶ5歳児の生活行動を測定した。測定に協力して頂いたさつき幼稚園の園児達は，驚くほど“早寝早起き”であった。早寝早起きで規則正しい睡眠の例の数値化が可能となった。園児達の活動量は大きく，更に，通園日の活動量は，休日である土日に比較して大きい傾向にあった。

キーワード：加速度センサー，子ども，生活行動モニター，睡眠覚醒判定，活動量

1. 序論

子どもの日常生活行動の特徴を正確に把握したい。子ども達は一体何時に就寝し，何時に目覚めているのか。何時間寝ているのか。何回寝返りを打つのか。また，一日にどのくらいの活動を行うのか。そして，これらの理想とする値はどのようなものなのか。日常生活における睡眠挙動及び活動量は，乳幼児，子どもから大人への発達の客観的指標としても重要なものである事には異論は無いであろうが，これまでの大量調査は「アンケート調査」で行う以外に方法が無かった。また，1日の行動挙動のパラメータである活動量及び睡眠挙動の把握が，健康な生活を維持し，生活習慣病を始めとする疾病を予防する為の第一歩であると云われていても，それらを正確にとらえるために，日常生活に拘束や束縛を与える事の無い，或いは，小さな子どもでも数日間に亘っての装着が可能な超小型の装置の開発が望まれてきた。

現在，各人の生活の場での睡眠評価が可能な，体動を用いて睡眠・覚醒を推定する腕時計型の装置アクティグラフ（米AMI社）が広く使用されている。アクティグラフや類似の腕時計型の装置群は，現在では評

価の確立した装置として，睡眠に関する研究や臨床評価に幅広く使用されている^{1,2)}。

しかしながら，これらの装置群は，

- 1) 睡眠・覚醒の推定しかできない。
 - 2) 装置が壊れやすい。
 - 3) 装置が重い為，装着者が違和感を感じる場合もある。
- 等の限界も有し，子どもの測定には使用できなかった^{1,2)}。

一方，加速度センサーを使用した人の活動挙動評価の歴史は長い^{3~9)}。しかしながら，現存する測定装置群は，複数の装置の装着が必要であったり，装置が重かったりする為，被験者に対する拘束が無いとはいえず，数日間の測定や子どもへの使用は難しかった^{3~9)}。我々が以前に報告し^{10,11)}，要介護高齢者の日常生活行動を明らかにしたシステム¹²⁾でも一被験者に複数の装置を装着する事が前提であり，更に，

- A) 使用した加速度センサが2軸であり，完全に加速度の方向を特定できなかった為に，姿勢の検出に問題が生じた。
- B) パソコンに接続するのに，アダプターを必要とした為に，使用が煩雑であった。
- C) メモリー搭載量が小さく，加速度測定の時間間隔を大きくせざるを得なかった。

D) 防水性が完璧で無く、汗等が中に入る事による誤動作があった。

等の問題を有し、多人数の集団の同時測定、数日間の測定や子どもへの使用は難しかった。

本研究では、超小型測定装置を胸部中央に1個装着するのみで、睡眠・覚醒の推定、睡眠時の姿勢変動挙動、活動量からの消費エネルギーの推定が可能なシステムを開発し、世界で初めての5歳児の日中の活動挙動と睡眠挙動の最大7日間の連続測定を行った。

2. 測定

2-1 測定装置

図1に開発した装置を示す。装置サイズは(30×41×8.5 mm)と小さく、重量は12g(電池込み)と軽量である。

3軸の加速度センサーとしては、±2gまでの測定が可能であるである米国カイオニクス社のKXM52-1050を使用した。装置(面内の)垂直方向、水平方向及び法線方向に加速度を検出する3つの軸(以後、垂直軸、水平軸、法線軸と呼称する。)が存在する。法線軸加速度の値により、前報では不可能であったうつ伏せ位と仰臥位の区別が可能となった。温度センサーとしては、米国Daras-Maxim社のDS600を使用した。

装置の動作を制御するMCUには、分解能10ビットのAD変換機能やUSB通信機能を内蔵した米国シリコラボラトリーズ社のC8051F340を使用した。装置上にミニUSBプラグを搭載し、ミニUSBコードによるパーソナルコンピュータとの直接接続を可能とした。加速度データのサンプリング間隔は、長時間測

定の為の10秒或いは1秒及びじゃれつき遊びの様な激しい3次元的な活動を測定する為の1/8秒の3つから選択可能とした。装置に搭載したメモリの容量は4Mバイトであり、メモリ容量の面からは、サンプリング間隔1秒で72時間、サンプリング間隔10秒では720時間の測定が可能という事になるが、電源としているリチウム電池CR2032の能力の限界で8日間程度の測定が限界である。

測定の前後にはパーソナルコンピュータとUSB接続し専用ソフトウェアにより、測定前は測定開始時間、サンプリング時間間隔及びデータ点数を設定し、測定後はデータの抽出を行う。設定後、デバイスをUSBから切り離し、専用両面テープを使用して、人体の胸部中央付近に、装置垂直方向が鉛直方向になるように装着する。両面テープとしては前報同様、米国3M製の世界で最も皮膚に優しいものを使用した¹⁰⁾。

2-2 測定

じゃれつき遊び・土ふまズの育成・子ども達を良く歩かせる保育と長年に渡る歩数調査統計に基づいた取り組みで名高い栃木県のさつき幼稚園(現在“さつき幼稚園”)に協力して頂いた。NPO法人セルフケア総合研究所内に設置した倫理委員会で、子ども達への負担や考えられる危険性に関して事前に十分に協議し、保護者に事前に文書による同意を求めた。更に、さつき幼稚園では、保護者が園児を連れて登園する事になっている為、登園したばかりの園児と保護者の双方に再度説明を行い、保護者及び子ども本人の同意を再度得た。また、測定を継続するか中途終了するかの判断は保護者に委ねた。

年長児37名全員に参加して頂いた。日常生活行動の調査は、2008年3月6日の正午より測定を開始するものとし、この日の正午に測定を開始し、サンプリング間隔10秒で3月13日の正午まで測定を行うように設定した装置を、正午前に全園児の胸部中央に貼り付けた。装置を装着した部位は更に防水シートでカバーし、入浴も装着したまま行う事、できるだけ装置を外さない事を依頼するとともに、かゆみその他の違和感を感じた場合にはすぐに装置を取り外す様お願いした。

2-3 解析

2-3-1 活動量評価

サンプリング間隔が10秒程度と長い場合、人体の活動の様に加速度の変化速度が速いものを対象とする

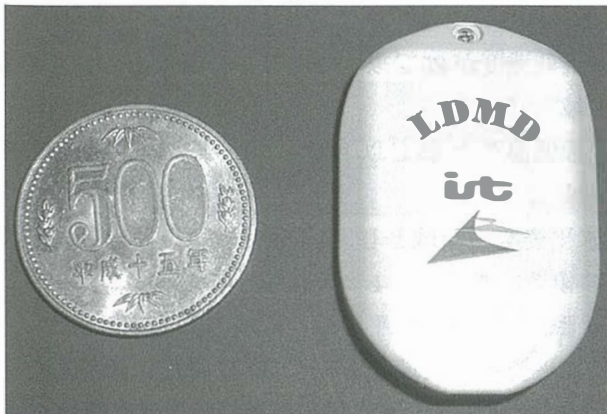


図1 測定装置

と、連続した2回の測定結果は、連続的に変化する量を測定したものというよりは相互に関係の無い確率論的量を測定したものに近くなってしまふ。従って、各測定毎の加速度の大きさを求め、その変化分の絶対値を1分間積算したものとして活動量を求めた¹⁰⁾。

2-3-2 姿勢評価

姿勢評価は加速度ベクトルの1分間毎の平均値をベースに行った。垂直軸加速度が鉛直下方となす角度が45度以下になった場合を、立位或いは座位とし、45度から135度の間(水平方向との角度が ± 45 度以内)の場合を横になった姿勢と判断した。

横になった姿勢の中では、法線軸が上向き(加速度の値がプラス)の場合をうつ伏位、下向き(加速度の値がマイナス)の場合を仰臥位とまず大まかにわけ、更に左右軸が鉛直上方となす角が60度以内の場合を左側臥位、鉛直下方となす角が60度以内の場合を右側臥位とした。

2-3-3 活動量と消費エネルギーの関係

加速度センサーによる活動量評価が始まった頃から、ダグラスバック等を使用した呼気分析による消費エネルギー測定と同時測定により回帰式を作成し、消費エネルギー推定を行う試みが続けられてきた¹³⁾。近年では、加速度センサを使用した活動量評価計相互の比較も行われている¹⁴⁾。本研究でもヴァイン社が開発したポータブルな高精度消費エネルギー測定装置メタヴァイン¹⁵⁾との同時測定を行い、活動量と消費エネルギーの関係を求め、換算式を求めた。

2-3-4 睡眠・覚醒推定

前報¹⁰⁾と同様に、1分間毎に体動のあった1分間か体動のない1分間かを判定した。この判定では、できるだけ敏感に体動挙動を評価する為に、各加速度の成分値の変化を基にした。また、ノイズの影響を取り除く為に、実験的に定めたある閾値以下の変動は0とした。各測定毎に得られる3つの変化量のうち最大のものを選択し、さらに1分間中のそれらの中の最大のものをその1分間を代表する値とした。全測定領域でのこの値の平均値を算出してその1/10を閾値とし、これ以上の場合を体動のある1分間、これより小さい場合を体動のない1分間とした。

この体動のない1分間の連続した領域群(非活動領域)を探し、隣り合う非活動領域の間隔が2分間以内ならば連結して1つの非活動領域とした。この非活動領域が更に集まっている領域を睡眠候補領域とする訳

であるが、まず、睡眠候補領域の最初の決定に当たっては、

- A) 20分間以下の長さの非活動領域でその後21分以上の活動領域が続く場合は睡眠候補領域の先頭では無い。
- B) 15分間以下の長さの非活動領域でその後16分以上の活動領域が続く場合は睡眠候補領域の先頭では無い。
- C) 10分間以下の長さの非活動領域でその後11分以上の活動領域が続く場合は睡眠候補領域の先頭では無い。
- D) 6分間以下の長さの非活動領域でその後6分以上の活動領域が続く場合は睡眠候補領域の先頭では無い。

という4つのルールに基づき全非活動領域をスクリーニングする事で行った。こうして得られた睡眠候補領域の先頭と後続の非活動領域の間隔が30分以内の場合は、この非活動領域を睡眠候補領域に連結するという手順を繰り返して睡眠候補領域群を得た。更に、長さが30分以下のものは睡眠候補領域から外した。

前報¹⁰⁾では、胸部の加速度データでもとめた体動の無い1分間はあくまでもその候補とし、大腿部、前腕部のデータにも体動が無い事を確認して真の体動の無い1分間とする事でその信頼性を高めている。この為に、本研究で言う睡眠候補領域をそのまま睡眠領域としている。しかしながら、胸部に装着した1つの装置によるデータのみに基づく推定を目的とした本研究では、向上した姿勢判定機能に基づく上半身が水平になっているというデータとの整合性を吟味して、睡眠領域とした。

姿勢判定においてもまず水平姿勢の1分間を求め、それが連続している領域を求めた。更に、人体より取り外されていた場合を除去する為に、

- A) 最低温度が25℃以上であり7分間以上の長さの領域
- B) 最低温度が25℃以下でも60分間以上の長さの領域

を水平姿勢の領域とし、10分間以下の間隔の水平姿勢の領域は連結して1つの領域とした。

睡眠候補領域と水平姿勢の領域の整合性判定は

- A) 水平姿勢の領域を前後に30分間だけ延長した領域内に入ってしまう睡眠候補領域は睡眠領域
- B) 長さが120分以上で、水平姿勢である時間の割合

が70%以上の睡眠候補領域は睡眠領域という2つのルールに基づいて行った。

3. 結果と考察

3-1 睡眠リズム図

解析プログラムがまず表示するのは、測定範囲全体の解析結果の連続8日間分を示した図2である。1行の図は24時間の結果を示し、8行目の図の下に表示された数字が時刻である。中央部の薄い領域は覚醒、両端の濃い領域は睡眠と推定された領域を示す。覚醒領域に多く見られ睡眠領域で殆ど見られない縦方向に変動する線で示されるデータは活動量を、横方向に伸びる線で示されるデータは皮膚温度を示す。睡眠挙動が1週間中安定して同じ挙動か、乱れがあるかを一望できる為に、図2に示すタイプの図を睡眠リズム図と呼ぶ。

我々は皮膚温度を重要な情報と考えているが、装置が測定した温度は、装置をつけたまま入浴すれば上昇し、装置が外れれば低下する。風呂から出る、或いは再び装着しても測定温度がノーマルな皮膚温度に戻るまでには時間を要する。また、装置が人体より落下転落すると小さな装置は激しく動き、大きな加速度の変動を記録し、活動量評価を誤らせる。これらの温度、加速度データは解析より除外する必要がある。解析プ

ログラムでは、温度・加速度とも解析から除外する領域及び温度のみ除外する領域をマニュアルで指定した。

表示開始時刻は自由に設定できるが、本研究では幼児園での活動内容との対応を検討する為に深夜0時を開始時刻とした。

3-2 24時間詳細解析図と生活行動パラメータ

解析の最終段階は、図2（睡眠リズム図）の各行の詳細表示図と解析パラメータを表示した図3（24時間詳細解析図）の表示である。最上段の皮膚温度図の下の数字は時刻を示す。次段の活動量は分当たりの消費エネルギー量に換算して表示しており、縦軸の数値はエネルギーレベルを示す。3段目は1分間毎の体動のレベルから睡眠候補領域が求められて行く過程を示す。4段目は姿勢の時間変動、5段目は加速度の1分間毎の平均値、6段目は水平姿勢の領域が求められていく過程をそれぞれ示し、最後の7段目が睡眠候補の領域と水平姿勢の領域の整合性確認とその結果として得られた睡眠領域を示す。

生活行動パラメータとしては

- ・睡眠開始時刻
- ・睡眠終了時刻
- ・睡眠時間
- ・睡眠時姿勢変動回数（体幹が動く寝返り）
- ・睡眠時平均、最高、最低皮膚温度

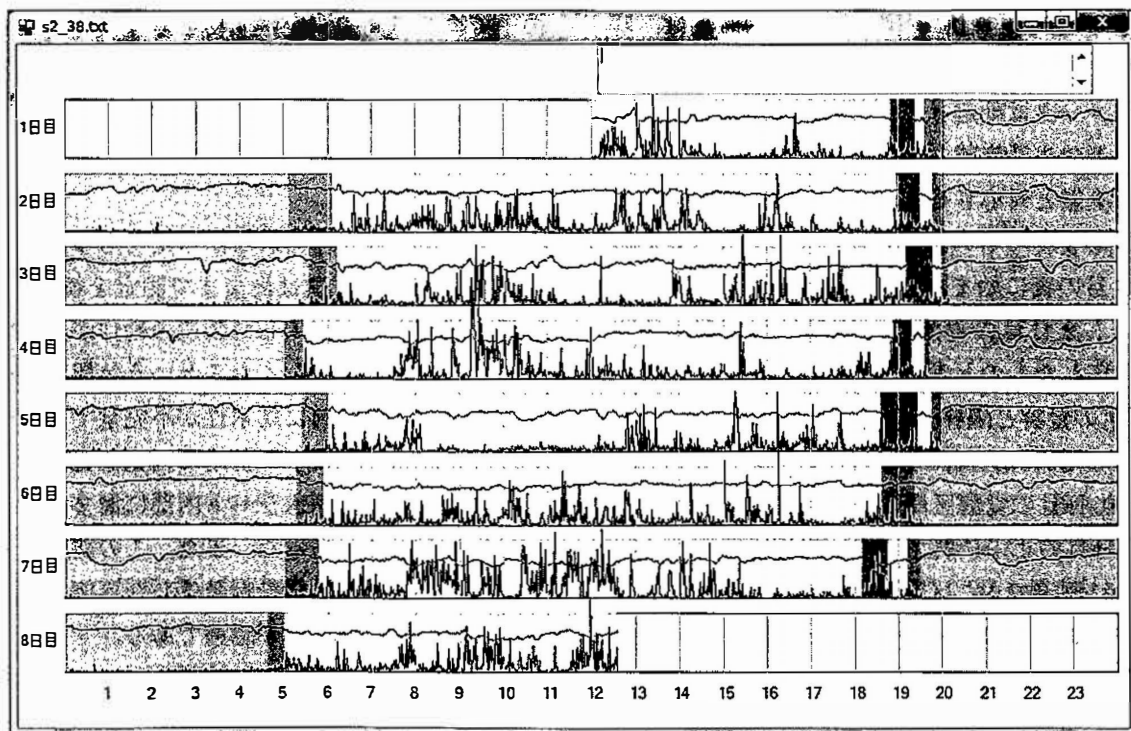


図2 睡眠リズム図

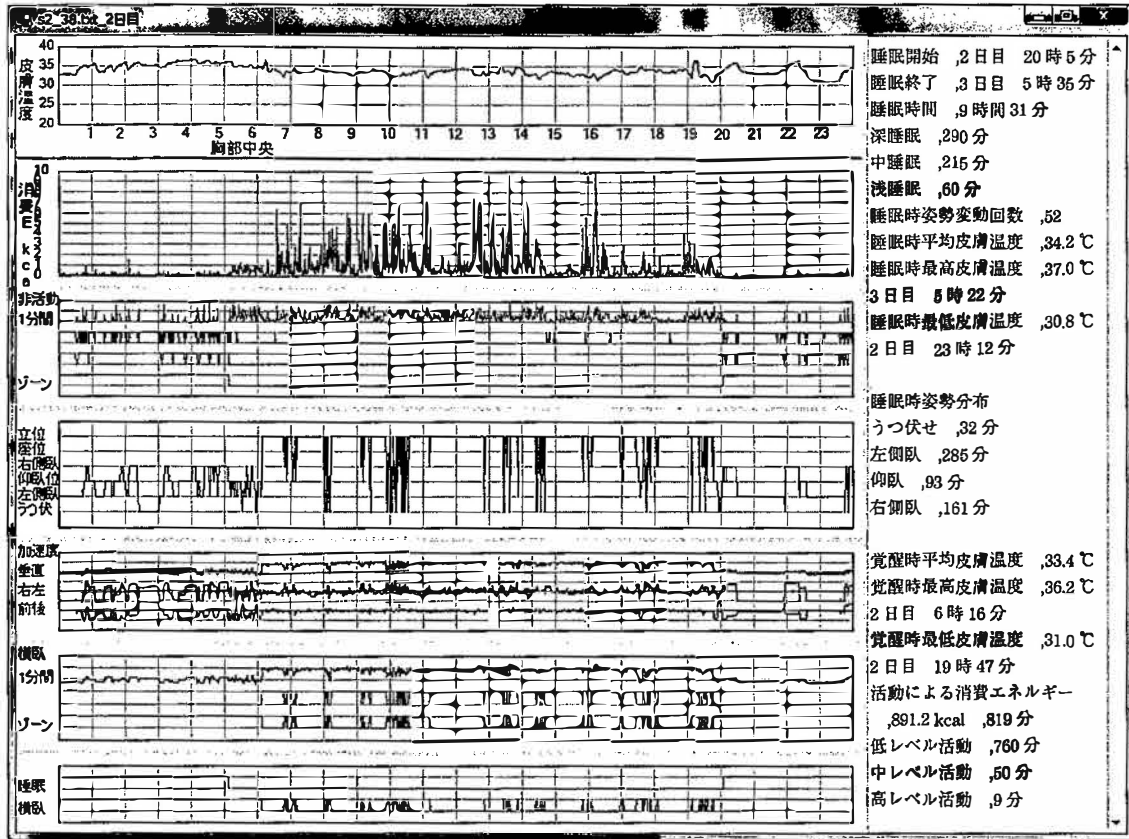


図3 24時間詳細図

- ・覚醒時の活動による消費エネルギーおよび活動時間
 - ・覚醒時平均, 最高, 最低皮膚温度
- を求め, 以下の議論に使用した。

ここで各24時間詳細解析図の解析開始時刻は, 睡眠リズム図の表示開始時刻と同じである。覚醒時の生活行動パラメータは朝起きてから夜眠るまでのものであり子ども達の生活実態と対応する。睡眠時のパラメータも生活実態と対応させる為に, 夜眠ってから次の日の朝起きるまでのものとした。例えば, 2日目の睡眠とは2日目の夜に始まって, 3日目の朝に終了するものであり, 2日目の覚醒時の活動量(消費エネルギー)に対応したものと考えられる。

3-3 測定 of 全容と限界

図2に示したデータは, 全7日間の測定に成功した例である。1日目の覚醒区間の途中である正午に測定開始し, 8日目の正午に終了する。今回, 睡眠或いは覚醒が完全に測定できた区間のみを検討の対象とした為, どの子ども1日目の覚醒のデータは無く, 全7日間の測定に成功した子は7日目の睡眠までが存在する。7日目の睡眠までの子が10名, 5日目の睡眠までが1名, 4日目の睡眠までが2名, 覚醒までが1名, 3日

目の睡眠までが5名, 2日目の睡眠までが1名, 1日目の睡眠までが7名であった(合計27名)。幼稚園児を対象とした測定で過半数の子で3日間以上, 約1/3の子で全7日間の測定に成功した。この幼稚園の子ども達の調査への参加の意思の強さ, 我慢強さは驚嘆に値する。尚, 途中で外していた領域がある場合は, 装着者の交代の可能性をおそれて, 以後の解析からは外した。

一方, データが得られなかった子どもも多かったが, その大半は, 子ども達は最後まで測定を続けたものの, 装置内部へ水分が侵入して装置の動作が途中で終了したり, データがおかしくなるという装置不良によるものであった。測定前に防水性が不完全である事が判明した為に, 防水シートの併用で補完を狙ったが, 子ども達の発汗により防水シート内部に溜まった汗が内部へ侵入したものであった。また, この防水シートの併用により, かゆみや発赤が発生した事例もあった。測定装置の防水性の向上が急務である。

3-4 園児達の生活行動の概要

さて, 本調査の第一の目的は, 園児達の生活行動の概要の把握である。得られた全ての覚醒区間と睡眠区

表1 生活行動パラメータ (全体)

		度数	平均値	標準偏差	最小値	最大値	男女間の有意差
睡眠開始時刻 (時:分)	男児	64	20:30	0:47	17:40	22:30	無し
	女児	47	20:32	0:38	18:32	21:53	
	全体	111	20:31	0:43	17:40	22:30	
睡眠終了時刻 (時:分)	男児	64	5:49	0:53	4:04	7:44	無し
	女児	47	6:04	0:45	4:31	8:10	
	全体	111	5:56	0:50	4:04	8:10	
睡眠時間 (分)	男児	64	557.8	56.0	401.0	690.0	無し
	女児	47	572.3	36.0	459.0	644.0	
	全体	111	563.9	48.9	401.0	690.0	
睡眠時姿勢変動回数 (回)	男児	64	24	12	3	57	有り
	女児	47	30	10	5	49	
	全体	111	27	12	3	57	
睡眠時平均皮膚温度 (℃)	男児	64	35.0	1.7	31.6	39.0	無し
	女児	47	34.8	1.0	32.7	36.7	
	全体	111	34.9	1.4	31.6	39.0	
睡眠時最高皮膚温度 (℃)	男児	64	36.8	1.6	33.5	40.6	無し
	女児	47	36.3	1.0	34.7	38.3	
	全体	111	36.6	1.4	33.5	40.6	
睡眠時最低皮膚温度 (℃)	男児	64	32.4	2.1	27.7	37.9	無し
	女児	47	32.4	1.3	29.0	34.8	
	全体	111	32.4	1.8	27.7	37.9	
覚醒時間 (分)	男児	50	838.6	66.3	644.0	1004.0	有り
	女児	35	808.0	65.1	637.0	916.0	
	全体	85	826.0	67.2	637.0	1004.0	
覚醒時活動による エネルギー消費量 (kcal)	男児	50	1044.9	330.0	457.9	2004.3	無し
	女児	35	1167.3	262.3	557.6	1645.0	
	全体	85	1095.3	308.3	457.9	2004.3	
覚醒時平均皮膚温度 (℃)	男児	50	33.8	1.8	30.7	38.3	無し
	女児	35	33.4	1.1	32.0	35.7	
	全体	85	33.7	1.6	30.7	38.3	
覚醒時最高皮膚温度 (℃)	男児	50	36.3	1.7	33.0	40.0	有り
	女児	35	35.5	1.0	34.1	38.1	
	全体	85	36.0	1.5	33.0	40.0	
覚醒時最低皮膚温度 (℃)	男児	50	31.2	2.0	27.4	35.9	無し
	女児	35	31.0	1.2	29.1	33.8	
	全体	85	31.1	1.7	27.4	35.9	

間に関する生活行動パラメータの記述統計量を表1に示す。これにより、子どもの生活行動の実態を把握する事ができた。

覚醒の区間は、男児で50区間、女児で35区間あり、覚醒時間は、男児では、平均値838.6分(標準偏差66分)、最長は1004分、最短は644分であった。女児の場合は、平均値808.0分(標準偏差65分)、最長は916分、最短は637分であった。

活動によるエネルギー消費量は男児では、平均値1044.9 kcal(標準偏差330.0 kcal)、最大値は2004.3 kcal、最小値は457.9 kcalであった。女児では1167.3 kcal(標準偏差262.3 kcal)、最大値は1645.0 kcal、最小値は557.6 kcalであった。

睡眠開始時刻は、男児では、平均値20:30(標準偏差47分)で、最も早い時刻は17:40、もっとも遅い時刻は22:30であった。女児では、平均値20:32

表2 7日間測定できたデータ・日毎・男児 1/2

		度数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
睡眠開始時刻 (時：分)	2日目	4	20:58	0:55	19:51	21:48
	3日目	4	20:31	0:28	19:55	21:04
	4日目	4	20:16	0:20	20:03	20:48
	5日目	4	20:09	0:36	19:32	20:59
	6日目	4	20:03	0:41	19:19	20:50
	7日目	4	20:03	0:24	19:42	20:34
	全体	24	20:20	0:37	19:19	21:48
	睡眠終了時刻 (時：分)	2日目	4	5:37	1:07	4:39
3日目		4	5:48	1:01	4:30	6:40
4日目		4	5:42	1:06	4:33	6:53
5日目		4	6:01	1:09	4:33	7:06
6日目		4	5:37	0:53	4:34	6:32
7日目		4	5:36	0:47	4:36	6:28
全体		24	5:43	0:55	4:30	7:06
睡眠時間 (分)		2日目	4	519.5	30.6	489.0
	3日目	4	556.8	39.1	513.0	600.0
	4日目	4	554.0	71.5	485.0	645.0
	5日目	4	592.3	67.2	513.0	674.0
	6日目	4	574.5	43.1	529.0	630.0
	7日目	4	574.0	38.0	531.0	615.0
	全体	24	561.8	50.5	485.0	674.0
	睡眠時姿勢変動数 (回)	2日目	4	19	8	12
3日目		4	16	4	13	21
4日目		4	20	4	16	25
5日目		4	25	6	19	31
6日目		4	18	8	7	25
7日目		4	18	9	7	28
全体		24	19	6	7	31
睡眠時平均皮膚温度 (℃)		2日目	4	35.5	2.3	33.4
	3日目	4	35.9	2.1	33.8	37.9
	4日目	4	35.5	2.5	33.1	39.0
	5日目	4	35.5	2.2	34.0	38.6
	6日目	4	35.4	2.5	33.5	38.9
	7日目	4	35.2	2.1	33.5	38.0
	全体	24	35.5	2.0	33.1	39.0
	睡眠時最高皮膚温度 (℃)	2日目	4	37.4	2.0	35.5
3日目		4	37.6	2.2	35.7	40.1
4日目		4	37.3	2.3	35.3	40.6
5日目		4	37.4	2.2	35.6	40.5
6日目		4	37.2	2.4	35.1	40.4
7日目		4	37.1	1.9	35.4	39.8
全体		24	37.3	1.9	35.1	40.6

(標準偏差 38分) で、最も早い時刻は 18:32、もっとも遅い時刻は 21:53 であった。

睡眠終了時刻は、男児では、平均値 5:49 (標準偏

差 53分) で、最も早い時刻は 4:04、もっとも遅い時刻は 7:44 であった。女児では、平均値 6:04 (標準偏差 45分) で、最も早い時刻は 4:31、もっとも

表2 7日間測定できたデータ・日毎・男児 2/2

		度数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
睡眠時最低皮膚温度 (°C)	2日目	4	33.4	2.6	30.8	36.4
	3日目	4	33.7	2.4	30.7	35.7
	4日目	4	32.7	2.4	30.9	36.1
	5日目	4	32.7	3.0	29.2	36.4
	6日目	4	32.4	2.4	30.6	36.0
	7日目	4	32.1	2.1	30.7	35.2
	全体	24	32.8	2.3	29.2	36.4
	覚醒時間 (分)	2日目	4	884.8	44.7	835.0
3日目		4	866.0	59.9	788.0	923.0
4日目		4	831.5	48.8	800.0	904.0
5日目		4	836.3	72.0	749.0	925.0
6日目		4	794.0	48.7	759.0	864.0
7日目		4	844.5	45.1	796.0	900.0
全体		24	842.8	56.0	749.0	936.0
覚醒時活動による エネルギー消費量 (kcal)		2日目	4	1254.2	212.4	971.0
	3日目	4	1014.3	309.5	608.1	1348.7
	4日目	4	1035.0	234.7	710.4	1247.3
	5日目	4	1141.9	157.8	947.5	1315.2
	6日目	4	1086.1	119.0	931.0	1198.7
	7日目	4	1796.5	152.9	1678.0	2004.3
	全体	24	1221.3	330.5	608.1	2004.3
	覚醒時平均皮膚温度 (°C)	2日目	4	34.0	2.6	31.2
3日目		4	34.9	2.7	32.5	38.3
4日目		4	34.7	2.2	33.3	38.0
5日目		4	33.6	2.0	31.9	36.5
6日目		4	34.2	2.7	32.2	38.1
7日目		4	33.8	2.8	32.3	38.0
全体		24	34.2	2.3	31.2	38.3
覚醒時最高皮膚温度 (°C)		2日目	4	36.5	1.8	34.8
	3日目	4	37.3	2.7	34.6	40.0
	4日目	4	36.6	2.2	35.2	39.9
	5日目	4	36.4	1.5	35.2	38.4
	6日目	4	36.6	2.3	35.3	40.0
	7日目	4	36.7	2.2	35.5	39.9
	全体	24	36.7	1.9	34.6	40.0
	覚醒時最低皮膚温度 (°C)	2日目	4	31.4	3.1	27.4
3日目		4	32.0	2.3	29.4	34.7
4日目		4	32.1	2.6	29.9	35.8
5日目		4	31.0	2.2	29.1	34.1
6日目		4	32.0	2.6	30.2	35.8
7日目		4	31.2	3.2	28.6	35.9
全体		24	31.6	2.4	27.4	35.9

遅い時刻は8:10であった。

睡眠時間は、男児で、平均557.8分(標準偏差56.0分)、最短は401.0分、最長は690.0分であり、女児で

は平均572.3分(標準偏差36.0分)、最短は459.0分、最長は644.0分であった。

皆、驚くほど早寝早起きで、睡眠時間の長い健康的

表3 7日間測定できたデータ・日毎・女児 1/2

		度数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
睡眠開始時刻 (時：分)	2日目	5	21:11	0:28	20:43	21:53
	3日目	5	20:22	1:02	18:32	21:02
	4日目	5	20:13	0:39	19:16	20:53
	5日目	5	20:27	0:30	19:50	21:10
	6日目	5	20:21	0:32	19:46	21:03
	7日目	5	20:25	0:38	19:54	21:32
	全体	30	20:30	0:41	18:32	21:53
	睡眠終了時刻 (時：分)	2日目	5	6:36	1:04	5:40
3日目		5	6:30	0:55	5:09	7:29
4日目		5	5:34	0:38	4:31	6:11
5日目		5	5:54	0:39	5:06	6:33
6日目		5	6:06	0:31	5:34	6:46
7日目		5	5:34	0:21	5:15	6:10
全体		30	6:02	0:47	4:31	8:10
睡眠区間長さ (分)		2日目	5	565.2	41.5	511.0
	3日目	5	609.0	26.0	579.0	638.0
	4日目	5	561.0	70.0	459.0	644.0
	5日目	5	564.0	19.6	539.0	586.0
	6日目	5	584.4	27.2	547.0	617.0
	7日目	5	548.8	38.4	487.0	591.0
	全体	30	572.1	42.0	459.0	644.0
	睡眠時姿勢変動数 (回)	2日目	5	31	11	23
3日目		5	31	11	19	47
4日目		5	26	11	12	42
5日目		5	29	15	5	40
6日目		5	31	15	11	49
7日目		5	27	8	19	40
全体		30	29	11	5	49
睡眠時平均皮膚温度 (℃)		2日目	5	34.7	0.7	34.0
	3日目	5	34.7	1.2	33.6	36.6
	4日目	5	34.7	1.2	33.3	36.4
	5日目	5	34.3	1.3	32.7	36.3
	6日目	5	34.8	1.3	33.3	36.7
	7日目	5	34.8	1.0	34.0	36.4
	全体	30	34.7	1.0	32.7	36.7
	睡眠時最高皮膚温度 (℃)	2日目	5	36.3	1.2	35.1
3日目		5	36.4	1.3	34.7	38.1
4日目		5	36.3	1.2	34.7	37.7
5日目		5	36.2	1.3	35.1	38.3
6日目		5	36.4	1.3	35.1	37.8
7日目		5	36.4	0.9	35.4	37.9
全体		30	36.3	1.1	34.7	38.3

な生活をしている様である。ここで、最短時間401.0分を示した男児は、次の日の日中に123分間の昼寝をしている。しかしながら、昼寝は6例存在したが、全

ての昼寝の直前・直後に短時間睡眠がある訳ではない。睡眠時姿勢変動回数は、男児では平均値24(標準偏差12)、最小値が3で、最大値が57、女児では平

表3 7日間測定できたデータ・日毎・女児 2/2

		度数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
睡眠時最低皮膚温度 (°C)	2日目	5	32.7	0.6	32.3	33.8
	3日目	5	32.7	0.8	31.8	33.9
	4日目	5	32.3	1.8	30.3	34.8
	5日目	5	31.6	1.5	30.1	33.8
	6日目	5	32.4	1.9	29.8	34.6
	7日目	5	32.7	1.2	31.5	34.4
	全体	30	32.4	1.3	29.8	34.8
	覚醒時間 (分)	2日目	5	863.2	40.9	819.0
3日目		5	774.6	109.6	637.0	897.0
4日目		5	791.6	62.6	740.0	897.0
5日目		5	821.2	21.1	786.0	839.0
6日目		5	814.2	71.7	689.0	862.0
7日目		5	768.0	51.5	710.0	832.0
全体		30	805.5	68.1	637.0	916.0
覚醒時活動による エネルギー消費量 (kcal)		2日目	5	1258.1	119.2	1117.2
	3日目	5	934.2	189.8	806.8	1269.2
	4日目	5	1099.2	347.7	557.6	1495.7
	5日目	5	1117.9	191.3	855.1	1371.8
	6日目	5	1144.9	179.6	1003.8	1430.2
	7日目	5	1580.9	42.8	1534.9	1645.0
	全体	30	1189.2	272.9	557.6	1645.0
	覚醒時平均皮膚温度 (°C)	2日目	5	33.3	1.0	32.4
3日目		5	33.5	1.3	32.6	35.7
4日目		5	33.7	1.0	32.9	35.4
5日目		5	33.3	1.3	32.3	35.3
6日目		5	33.5	1.2	32.4	35.4
7日目		5	32.9	1.2	32.0	34.9
全体		30	33.4	1.1	32.0	35.7
覚醒時最高皮膚温度 (°C)		2日目	5	35.7	1.2	34.8
	3日目	5	35.7	1.0	34.6	37.2
	4日目	5	35.6	0.9	34.7	37.1
	5日目	5	35.2	1.2	34.3	37.1
	6日目	5	35.3	0.9	34.3	36.7
	7日目	5	35.2	1.2	34.1	37.1
	全体	30	35.4	1.0	34.1	37.8
	覚醒時最低皮膚温度 (°C)	2日目	5	30.6	1.2	29.1
3日目		5	31.1	1.6	29.9	33.8
4日目		5	31.5	0.9	30.3	32.6
5日目		5	30.8	1.2	29.2	32.0
6日目		5	31.2	1.1	30.2	33.0
7日目		5	30.4	1.0	29.3	31.8
全体		30	30.9	1.1	29.1	33.8

均値 30 (標準偏差 10), 最小値が 5 で, 最大値が 49 であった。寝返りを繰り返す子から, 殆ど動かない子まで幅広く分布しているようである。

睡眠時姿勢変動回数, 覚醒時間, 覚醒時最高皮膚温度に男女間の有意差があった。(有意水準 5%)

表4 消費エネルギー的に有意差の無いグループの組の構成

日	活動	性別	消費エネルギー (kcal)	お互いに有意差の無いグループの組		
7	遠足	男児	1796.5	○		
7	遠足	女児	1580.9	○	○	
2	外遊び	女児	1258.1		○	○
2	外遊び	男児	1254.2		○	○
6	誕生会	女児	1144.9		○	○
5	式典練習	男児	1141.9		○	○
5	式典練習	女児	1117.9		○	○
4	日曜日	女児	1099.2			○
6	誕生会	男児	1086.1			○
4	日曜日	男児	1035.0			○
3	土曜日	男児	1014.3			○
	土曜日	女児	934.2			○
3				↓	↓	↓
				高活動の組	中活動の組	低活動の組

表5 消費エネルギー的に有意差の無いグループの組 (日毎・性別毎表示)

園での活動	性別	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
		外遊び	土曜日	日曜日	式典練習	誕生会	遠足
消費エネルギー (kcal)	男児	1254.2	1014.3	1035.0	1141.9	1086.1	1796.5
	女児	1258.1	934.2	1099.2	1117.9	1144.9	1580.9
高活動の組	男児						○
	女児						○
中活動の組	男児	○			○		
	女児	○			○	○	○
低活動の組	男児	○	○	○	○	○	
	女児	○	○	○	○	○	

3-5 毎日の挙動の比較

次に興味があるのは、通園日と土日の休日とで園児達の生活行動に相違があるのか、また、遠足等、園での主な活動によってどう変わるのかである。今回の調査で、24時間のデータが取れた6日間のうち、最初の2日目は金曜日（園での主な活動は外遊び）、3日目、4日目は土曜日、日曜日で園児は家庭で過ごす、5日目は、6日目の園での主な活動は卒園式の練習と誕生会、7日目が遠足であった。この遠足の後の睡眠までのデータが測定できた訳である。

調査の全過程である7日目の睡眠までのデータが得られた被験者のデータのみを使用して統計解析した。最後まで測定できた10名のうち、長い欠落部があった1名を除く被験者（男児4名、女児5名）のデータを男女のグループに分け、更に、2日目から7日目

での日毎に分けて12個のグループとし、1元配置分散分析を行ってグループ間に有意差があるかを検定し、Tukeyの多重比較法により、どのグループとどのグループの間に有意差があるのかを求めた。つまり、同じ被験者であるが、毎日毎日は独立と考えたのである。全ての生活行動パラメータの記述統計量を表2（男児）、表3（女児）に示す。

グループ間の有意差があったのは、覚醒時活動による消費エネルギー量のみであった（有意確率5%）。さて、沢山のグループ間相互の有意差の有無の表現は難しい。例えば、遠足の日の男児の消費エネルギー量は女児のそれと有意差がないが、女児の外遊びの日の消費エネルギー量とは有意差がある。ところが、女児の遠足の日の消費エネルギー量は男児のそれとも女児の外遊びの日の消費エネルギー量とも有意差がない。

表 6 全過程の測定が可能であった被験者群の主要睡眠パラメータの被験者毎の記述統計量

	被験者	度数	性別	平均値	標準偏差	最小値	最大値
睡眠開始時刻	21	6	女兒	21:06	0:24	20:23	21:32
	22	6	女兒	20:26	0:45	19:52	21:53
	26	6	女兒	20:20	0:31	19:46	20:59
	27	6	男児	20:11	0:14	19:51	20:30
	31	6	女兒	20:21	0:34	19:16	20:48
	37	6	女兒	20:17	0:57	18:32	21:10
	48	6	男児	20:59	0:22	20:34	21:41
	57	6	男児	19:56	0:24	19:19	20:35
	58	6	男児	20:14	0:51	19:32	21:48
	全体	54		20:25	0:39	18:32	21:53
睡眠終了時刻	21	6	女兒	6:37	0:41	5:38	7:29
	22	6	女兒	6:00	1:06	5:06	8:10
	26	6	女兒	5:51	0:42	5:18	7:13
	27	6	男児	5:14	0:21	4:39	5:40
	31	6	女兒	6:18	0:17	5:59	6:46
	37	6	女兒	5:26	0:37	4:31	6:22
	48	6	男児	6:41	0:17	6:22	7:06
	57	6	男児	4:34	0:04	4:30	4:43
	58	6	男児	6:24	0:22	5:56	6:53
	全体	54		5:54	0:51	4:30	8:10
睡眠時間 (分)	21	6	女兒	569.2	47.7	487.0	628.0
	22	6	女兒	575.0	29.1	539.0	618.0
	26	6	女兒	569.3	33.6	529.0	615.0
	27	6	男児	534.8	30.0	485.0	574.0
	31	6	女兒	596.5	29.2	563.0	644.0
	37	6	女兒	550.3	61.6	459.0	638.0
	48	6	男児	582.7	17.3	558.0	608.0
	57	6	男児	518.8	22.6	489.0	556.0
	58	6	男児	611.0	59.2	502.0	674.0
	全体	54		567.5	45.8	459.0	674.0
睡眠時姿勢変動数 (回)	21	6	女兒	43	3	40	48
	22	6	女兒	16	9	5	28
	26	6	女兒	37	8	24	49
	27	6	男児	21	7	13	31
	31	6	女兒	26	6	19	35
	37	6	女兒	24	2	22	26
	48	6	男児	13	5	7	19
	57	6	男児	19	4	12	25
	58	6	男児	23	6	16	28
	全体	54		25	11	5	49

このような関係を判りやすく表示する為に、表 4 に示す様に、各グループを消費エネルギー量の大きい順に並べ、消費エネルギーの大きなものから有意差の有無により、有意差の無い組を形成して行く。

1 番消費エネルギーが大きい遠足の日の男児から始

まる有意差の無い組は、次の遠足の日の女兒で終わる。

2 番目の遠足の日の女兒から始まる有意差の無い組は、七番目の式典練習の日の女兒で終わる。

3 番目の外遊びの日の女兒から始まる有意差の無い

組は、1番消費エネルギーが小さい土曜日の女児までを含む。

このように、3つの有意差の無い組が形成された。これらを、最初から高活動の組、中活動の組、低活動の組と呼ぶ。表5には、日毎・性別毎の消費エネルギーの値と、どの組に所属するかを示した。これらを構成するグループには、2つにダブって所属するものもあり、はっきり相違があるとはいきれないのであるが、通園日と土日のエネルギー消費量には差がありそうである。園の取り組みは功を奏しているといえるのでは無いだろうか。また、誕生会の日、女児の方の消費エネルギーが大きく“中活動”に入り、男児は“低活動”組に入るのが面白い。

3-6 早寝早起き

子どもの睡眠といえば、“早寝早起き”が理想である。図2に示したような睡眠リズムを描けば、“早寝早起き”で規則的な睡眠なのか、不規則な睡眠なのか、睡眠リズム障害があるのかを1目で判定できる。

さて、図2に示したデータは見事に、早寝早起きで規則的である。全過程の測定が可能であった被験者群9名の中のものである。この被験者群の、睡眠開始時刻、終了時刻、睡眠時間、睡眠時姿勢変動回数の被験者毎の統計量を表6に示す。この群が早寝早起きで規則的な睡眠である事が良く判る。一方、睡眠時姿勢変動回数(寝返りの回数)は、広く分布するし、個人内でも変動する。

“早寝早起き”を如何に実現するかヒントは、ここまで議論してきた彼らの活動挙動にあるのでは無いかと思われる。更に、表6の時間帯を見ると、ご両親を始めとするご家族の協力があっての事ではないかと推測される。

4. 結論

世界で初めて、7日間に及ぶ5歳児の生活行動を測定した。測定に協力して頂いたさつき幼稚園の園児達は、驚くほど“早寝早起き”であった。早寝早起きで規則正しい睡眠の例の数値化が可能となった。園児達の活動量は大きく、更に、通園日の活動量は、休日である土日に比較して大きい傾向にあった。

謝辞

測定に使用したメタヴァインをご貸与頂きました信州大学寺沢宏次教授、測定にご協力頂きました東洋学

園大学荻間寅男教授に深謝致します。

文献

- 1) Webster JB, Kripke DF, Messin S et al: An Activity-Based Sleep Monitor System for Ambulatory Use. *Sleep* 5: 389-399, 1982.
- 2) Cole RJ, Kripke DF, Gruen W et al: Automatic Sleep/Wake Identification From Wrist Activity. *Sleep* 15:461-469, 1992.
- 3) Crooter SE, Schneider PL, Karabulut M et al: Validity of 10 electronic pedometer for measuring steps, distance and energy cost. *Med Sci Sports Exerc.* 35:1455-1460, 2003.
- 4) Kumahara H, Schutz Y, Ayabe M et al: The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure; a validation study against whole body indirect calorimetry. *British J. Nutr.* 91: 235-243, 2004
- 5) Saito N, Yamamoto T, Sugijura Y et al: Lifecorder: A new device for the long-term monitoring of motor activities for Parkinson's disease. *Intern. Med.* 43: 685-692, 2004
- 6) Bussmann JB, Reuvekamp PJ, Veltink PH et al: Validity and reliability of measurements obtained with an "Activity Monitor" in people with and without a transtibial amputation. *Phys. Ther.* 78: 989-998, 1998.
- 7) Bussmann JB, Grootsholten EA and Stam HJ. Daily physical activity and heart rate response in people with a unilateral transtibial amputation for vascular disease. *Arch Phys Med Rehabil* 85: 240-244, 2004.
- 8) Zhang K, Werner P, Sun M et al: Measurement of human daily physical activity. *Obes. Res.* 11: 33-40, 2003.
- 9) Culhane KM, O'Connor M, Lyons D et al. Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. *Age and Ageing.* 34: 556-560, 2005.
- 10) 高村 昇, 青柳 潔, 白水重憲他: 姿勢・体動・皮膚温度測定による睡眠と生活行動モニタリング. ITヘルスケア 1: 14-23, 2006.
- 11) 小川純美江, 野口木綿子, 八木朝子他: バイオバランスチップ(BBC)を用いた寝姿勢(体位)と睡眠時間の評価 日本睡眠学会第31回定期学術集会プログラム・抄録集 213, 2006.
- 12) 江口真由美, 竹田信一郎, 前田隆浩他: 超小型軽量皮膚温・加速度センサー使用による要介護高齢者の生活実態調査 理学療法学 34-Supplement No.2 526, 2007.
- 13) Yokoyama Y, Kawamura T, Tamakoshi A et al: Comparison of accelerometry and oxymetry for measuring daily physical activity. *Circ. J.* 66: 751-754, 2002.
- 14) Crouter CE, Schneider PL, Karabulut M et al: Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35: 1455-1460, 2003.
- 15) Tamura T, Ichinoseki N, Yoshimura T et al: Development

and evaluation of a simple calorimeter for the measurement of resting metabolism. *Clinic. Exp. Pharm. Physiol.*

29: S2-S6, 2002.

**One Week's Monitoring of Five Years Old Children,
their Sleep Behaviors and Activities.**

SHIGENORI SHIROUZE, SOTETSU KATAYAMA, TAKEO MASAKI

A very small and light temperature and acceleration measuring device was developed. And life activity monitoring of five years old children during one week was performed with this device. Children of Satsuki kindergarden (Ibaragi, Japan) were surprisingly "sleep-early and wake up-early", and considered to be model data of regular sleep with "sleep-early and wake up-early". Their activities were large and larger at week days with kindergarden than at week end with no kindergarden.

Key Words: accelerometer, children, life activity monitoring, sleep/wake identification, activity