

## 幼稚園の『バスの先生』のバス運転時のRR間隔変動

白水 重憲<sup>1)</sup>、瀬野 ゆめか<sup>1)</sup>、飛岡 健<sup>2)</sup>、菅野 久信<sup>3)</sup>

**要旨** バスによる子どもの送り迎えという責任ある仕事をしている最中の幼稚園の『バスの先生』達の自律神経活動の把握を試みた。朝の交通が混雑する通勤時間帯に幼稚園児を集めてまわるバスの先生達のバス運転時における精神的な負荷は予想よりも遥かに大きく、自律神経活動の範疇を超えた大きなRR間隔の減少と超低周波成分の強度ピークが時折認められた。更には、自己に不整脈が発生する事を自覚していなかった被験者での不整脈の頻発が発生していたケースもあった。

**キーワード**：メンタルストレス、印加、解除、自律神経活動、RR間隔変動

### 1. 序論

四恩学園ナザレ幼稚園には、幼稚園児を送り迎えする為のバスが多数あり、朝と午後の幼稚園児の送迎の他、幼稚園で実施されている学童保育の学童達の送り迎え、幼稚園児とグループ内の保育園児の教育交流の為の移動、園児達の自然環境を利用した教育施設への移動等、一日中大活躍をしている。専任と兼任あわせて8名の運転担当の職員がいて、子ども達からは信頼と親しみをこめて『バスの先生』と呼ばれている。

我々は、ウェアラブルな超小型心電・加速度測定装置(M-BIT)と身体活動評価<sup>1)</sup>、自律神経活動解析ソフトウェア<sup>2)</sup>、REM睡眠や睡眠時無呼吸の検出までの睡眠解析ソフトウェア<sup>2-6)</sup>を開発し、ナザレ幼稚園・保育園にご協力を頂き、園児達の身体活動<sup>7)</sup>や睡眠挙動<sup>8)</sup>を測定してきた。一方、我々は、東北地方太平洋沖地震の際の中老年者<sup>9)</sup>、定期試験の日の高校生<sup>10)</sup>、女子大学生が『東京ドームのタワーハッカー』で自由落下する場合<sup>11)</sup>、教育用原子力発電所運転シミュレータ操作時の大学院生<sup>12)</sup>等、様々なシチュエーションでの自律神経活動の評価や応用を報告してきた。

近年、運転手の居眠り等による路線バス、観光バス等の事故が頻発している。国土交通省は運転者の

過労運転、居眠り運転を防止する為の測定装置の導入を進めようとしている<sup>13)</sup>。M-BITを使用すれば、この問題に対して、2つの方向からアプローチできる。

最初のもは、運転を開始する前の運転手の健康状態、睡眠状態の確認である。我々が、子ども達の睡眠や活動を測定したように、M-BITを使用すれば<sup>8)</sup>、運転者の運転する前日、或いは前々日の過労の状態、十分な質の睡眠を、十分な長さとなっているか、睡眠時無呼吸や途中覚醒が頻発していないかを運転者の生活行動を妨げる事無く把握できる<sup>2-6)</sup>。

二番目は、運転中の運転手のモニター及び警報の発砲である。我々はM-BIT同様にウェアラブルな超小型の心電・加速度測定装置で、無線を利用してリアルタイムにパソコンにデータを送るタイプのもの(R-BIT)とR-BITから送られてきたデータからリアルタイムで自律神経活動を解析し、睡眠に陥りそうになったら警報を発するソフトウェアを既に報告している<sup>14)</sup>。更に、被験者が与えられた課題に対応する知識・能力を持ち課題遂行に集中しているか否かを、自律神経活動をモニターする事で判断できる可能性がある事を報告している<sup>10, 12, 14)</sup>。

これらの我々のテクノロジーを活用すれば、バスを含むすべての交通手段や発電所・工場等の運転操作から居眠りや“うっかり”によるミスや事故を根絶できるというのが、我々の年来の信念であった<sup>12)</sup>。我々のテクノロジーを交通事故撲滅に役立てる第一歩として、バスによる子どもの送り迎えという

1) NPO法人セルフケア総合研究所

2) (株)人間と科学の研究所

3) 産業医科大学名誉教授

受付日：2015年x月xx日

採択日：2015年x月xx日

責任ある仕事をしている時の『バスの先生』達の自律神経活動の把握を試みた。

## 2. 測定と解析

### 2-1 測定

運転時のバスの動きや振動による人体の動きを敏感に検出する為に、M-BITはECG及び3軸の加速度をサンプリング周波数128Hzで測定するモードで使用した<sup>11,12)</sup>。このモードでは9時間強の測定が可能であった。M-BITのECG測定は2つの電極しか必要とせず、更に、小型軽量である為にこの2つの電極を使用して被験者の胸に装着できた。

被験者は四恩学園のナザレ幼稚園に勤務する『バスの先生』のうち7名であった。2014年12月15日の朝7:30過ぎ、始業点検、暖機運転及び車内清掃を終え、朝の園児達の迎えに出発する前にオフィスで装着し、勤務終了後に回収した。

### 2-2 幼稚園バスの走行する環境と時間帯

ナザレ幼稚園は、横浜市青葉区鴨志田町に所在し、東急電鉄榊田園都市線青葉台駅を利用する家族の子ども達を対象としている。都心への通勤者が多い典型的な『高級』ベッドタウンである。この領域の道路の交通量は、日中はそれほど多くは無いが、朝の通勤時間帯はかなり混雑する。そして、朝、バスは通勤時間帯を含む7:50~10:00に、駅付近の住宅街を回り子ども達を集める。

### 2-3 解析

世界中で広範に使用されている頑健なリアルタ

イムQRSピーク抽出アルゴリズムをベースにした方法で、心電図波形上でR波の時間位置を求め、RR間隔時系列データを得た。RR間隔データの分布挙動に着目する事により真のRR間隔データとアーティファクトを分別し、アーティファクトは全て棄却した。その後、RR間隔信号を周波数2Hzでリサンプリングして等間隔時系列とした<sup>2)</sup>。

指定した解析開始時刻から、順次、512秒間ごとに0.5秒等間隔リサンプルRR間隔時系列を基に、SPWV(Smoothed Pseudo Wigner-Ville)法を使用して時間周波数解析を行い、時間周波数MAPを得た。定法に従い低周波領域を0.04Hz~0.15Hz、高周波領域を0.15Hz~0.40Hzとして、各時間の周波数軸に沿った各周波数範囲での積分として低周波成分(LF)、高周波成分(HF)を求め、HFとLF/HFをそれぞれ副交感神経活動と交感神経活動の指標とした。更に、0.04Hzより低周波の領域に関して同様の事を行い超低周波成分(VLF)強度を求めた。また、高周波領域の瞬時中心周波数として呼吸周波数を求めた<sup>11,12)</sup>。

## 3. 結果と考察

測定した7名のうち、1名はクラスの先生と兼任で朝は運転しなかった。また、既にバスの運転を開始して門を出ようとしていた所を呼び止めて自分で装着させた1名では、装着部位が良くなく心電の測定が出来なかった。本報告で検討の対象としたのは残りの5名である。

図1に512秒間の時間周波数MAPの例を示す。横軸は時間であり、1分間毎に目盛りを入れ時刻を

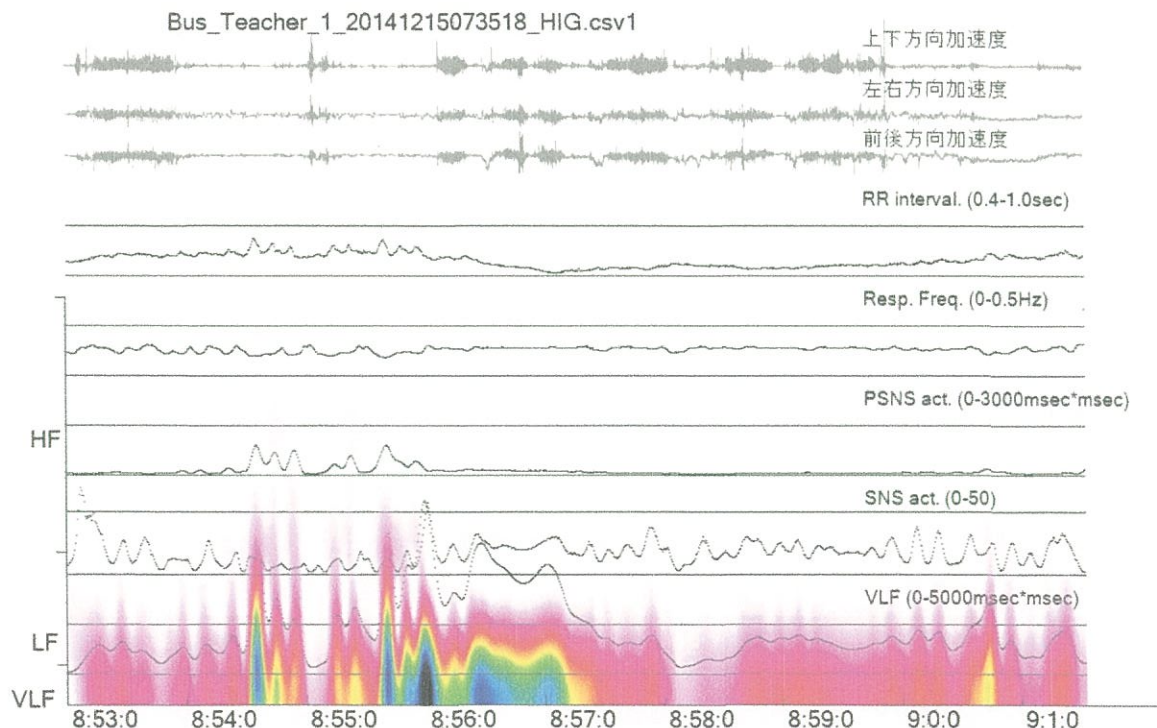


図1 時間周波数MAPの例 被験者1 RR間隔の大きな低下と超低周波帯ピークの強度が出現する時間帯

示している。縦軸は周波数であり、高周波 (HF)、低周波 (LF) 及び (超低周波 VLF) の範囲を示している。強度は色の変化として、大きくなる順に白から赤橙黄緑青と変化し黒い領域が最大である。

図1には、このMAPに使用した等間隔リサンプリングRR間隔時系列 (RR interval)、及びこのMAPより求めた呼吸周波数 (Resp. Freq.)、副交感神経活動の指標 (PSNS act.)、交感神経活動の指標 (SNS act.) 及び超低周波成分の強度 (VLF) を、MAPと同じ時間スケールで表示のスケール範囲と上下の基準線とともに示している。

更に、図1の上方には、対応する時間範囲の上下、左右、前後方向の加速度データを示しているが、ここでの加速度は単にバスが動いている事や運転手の姿勢変化の有無の指標であるので、スケールは示していない。

図1では、加速度データの状況から8:54から8:56分にかけてバスは定常状態である事が唆される。バスの先生のRR間隔は長めで頻繁に変動しており、副交感神経活動は大きく、交感神経活動は小さい。

8:56分ちょっと前に、RR間隔の頻繁な変動は消失し、その後加速度変動が大きくなり、RR間隔は単調で大きな減少を開始する。副交感神経活動は急激に小さくなり、VLFの大きなピークが出現する。この状況は、大地震の際<sup>1)</sup>や絶叫マシンを体験<sup>11)</sup>している時と同様である。この状況は加速度の変動が小さくなる9:00まで続く。その後、RR間隔の頻繁な変動が振幅は小さいけれども回復する。

バスの先生は、8:56分ちょっと前に危険を感じて緊張しながら回避の為に運転操作を行ったか、或いは、これから行う運転操作の為に緊張を開始したのかのいずれかが考えられる。絶叫マシンの場合も被験者達のRR間隔は、地上でマシンに乗りマシンが動き出した時から大きな低下を始めていた<sup>11)</sup>。これから類推すると、操作に先立っての緊張も十分に考えられる事である。

運転操作にあたり集中し緊張するのは望ましい事であるが、このような自律神経バランスの範疇を越えた過度の緊張は、判断能力、知覚能力、運転操作を行う為の運動神経に悪い影響を与える可能性がある。我々は、日常的に運転操作を行っている『バスの先生』の運転中にこのような事態が発生するとは予想していなかったが、たまたま、解析にメンタルストレス印加・解除の研究に使用しているソフトウェアを転用したので発見する事ができた。バス運転時の運転者の精神状態のモニターに、通常の範囲の自律神経評価システムでは重要な事を見逃すおそれがある事を銘記しておく必要がある。

このような時間周波数解析を被験者1 (40歳)、2 (72歳)、4 (68歳) 及び5 (33歳) で、それぞれ14回繰り返し、朝の運転時間帯をカバーする2時間の副交感神経活動と交感神経活動の指標、超低周波帯強度の時間変動を求め、RR間隔及び加速度ベクトルの変動と共に示した。図2、3、4及び5にそれぞれ示す。横軸は測定開始時刻の7:50:00からの秒数である。

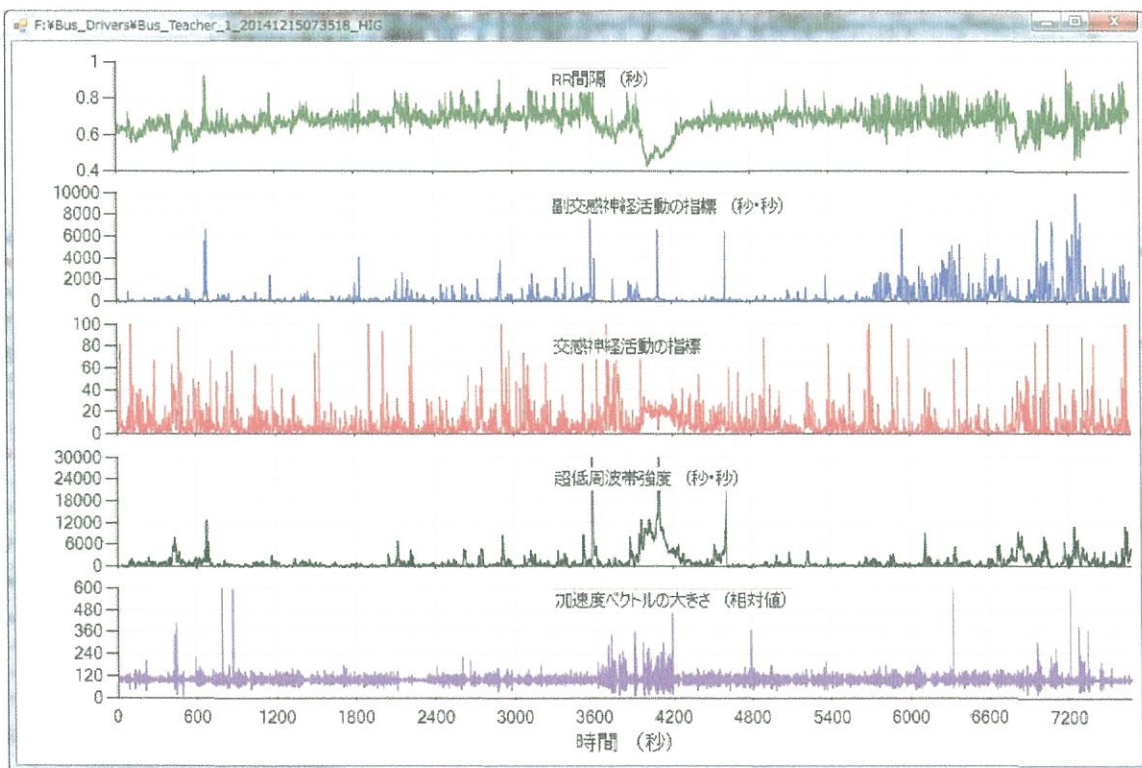


図2 朝の運転時の自律神経活動 (被験者1)

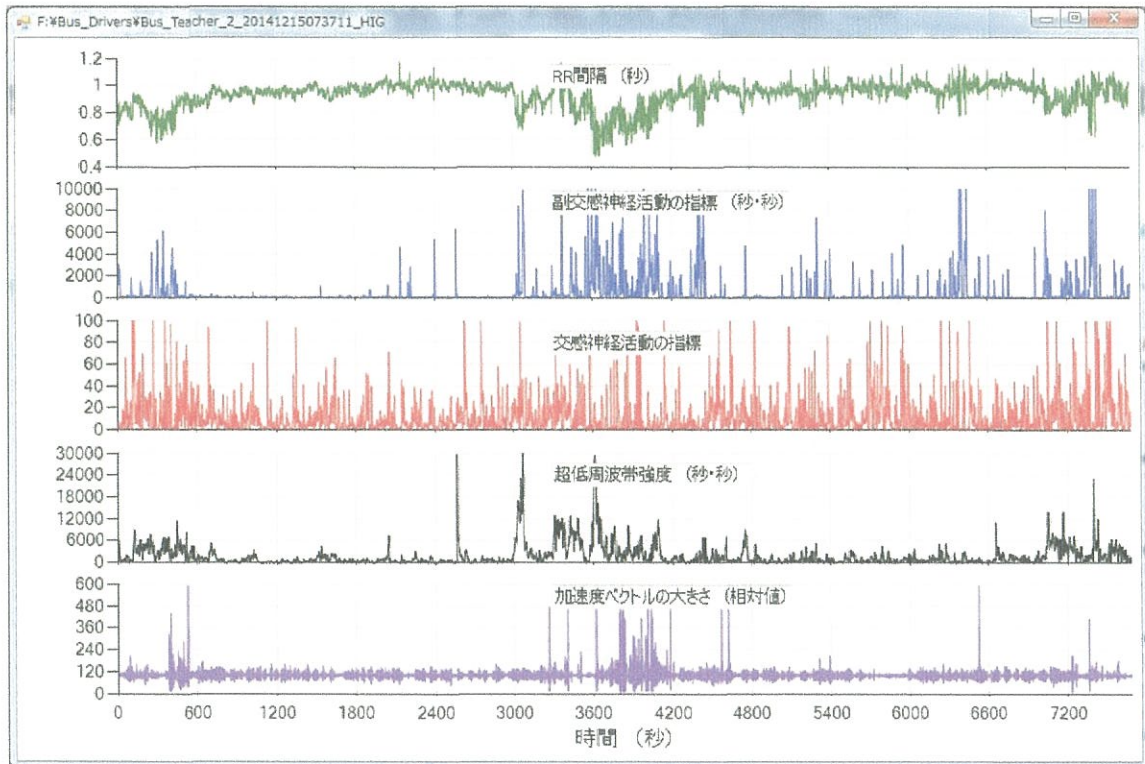


図3 朝の運転時の自律神経活動 (被験者2)

被験者 1、2、4 では自律神経活動の挙動が類似している。全般的に副交感神経活動が小さく交感神経活動が大きい。被験者 5 では副交感神経活動が大きめであり、交感神経活動は小さめである。

4 人の被験者で RR 間隔の大きな減少と超低周波帯のピークの出現状況は類似している。出発後 500

秒あたり、3600 秒から 4200 秒の付近、7200 秒付近に見られる。危険或いは緊張を感じる場所或いは操作がそこにあるものと思われる。

4 人の被験者全員が 3600 秒から 4200 秒付近で大きな 2 つのピークを示している。最初のピークは、第一便の子ども達を乗せて到着し、幼稚園の園庭で

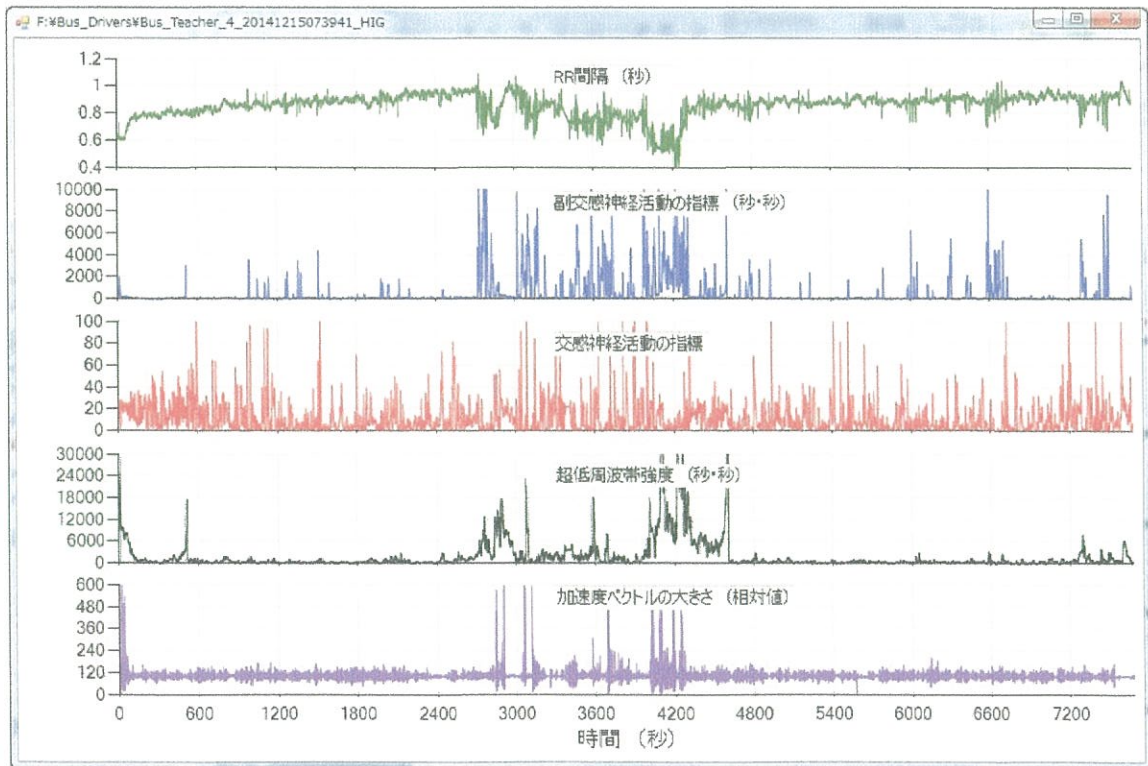


図4 朝の運転時の自律神経活動 (被験者4)

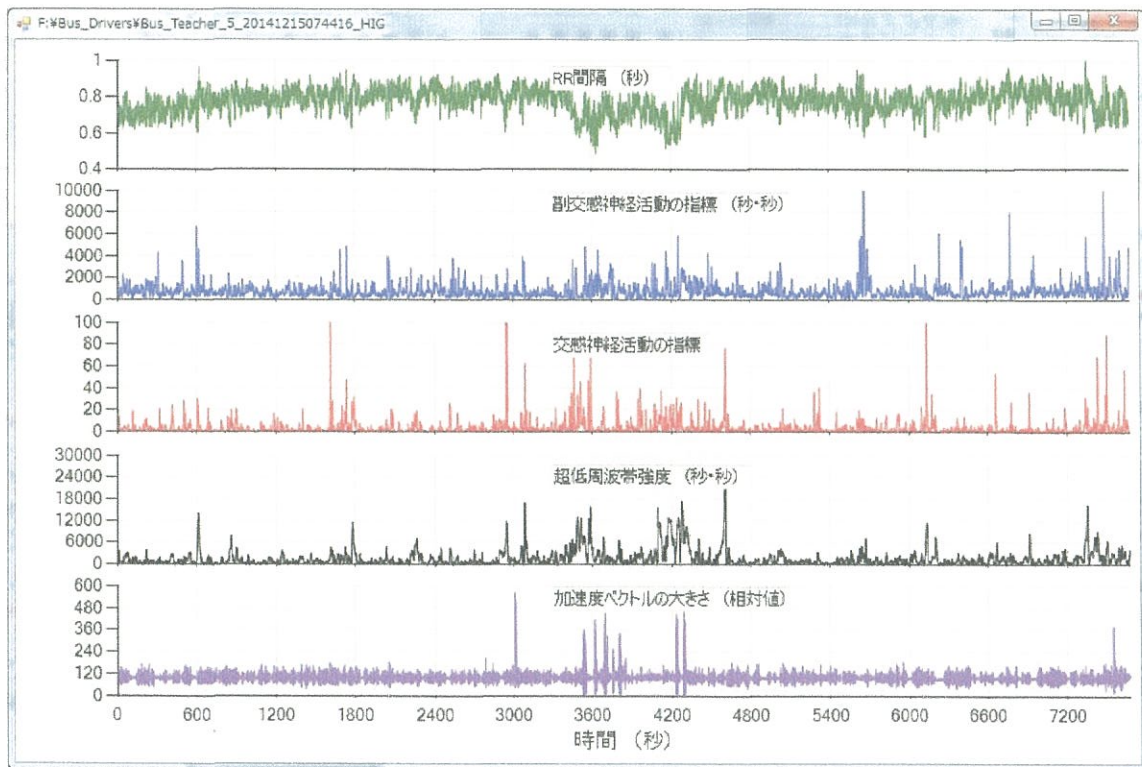


図5 朝の運転時の自律神経活動（被験者5）

所定の位置に移動し、子ども達を降ろして、また移動する時に対応する。狭い場所で車体同士が隣接する場合もあり、更に、死角に居るかもしれない子どもの可能性に気を配りながらの微妙な移動は大きな緊張をバスの先生達に与えるものと思われる。

引き続いた2つ目のピークは第二便の子ども達を迎えに出発するときのものと思われる。最初に出発する時と違い、園庭には遊ぶ子ども達や保護者等の人の数が増えているために、最初の出発時と異なり大きな緊張のピークをしめすものと考えられる。

もう一つの可能性とは、過去の1時間の緊張の履歴、特に第一便到着時の大きな緊張の影響の残存により緊張しやすくなっている可能性もある

このような緊張時、想定内の園内の子どもの挙動には十分に対応できるが、想定外の園前の道路の状況の把握や対応には柔軟性がかけるおそれがある。園庭内のバスの移動時に過度の緊張を要しないようなシステムの改良や工夫、次の出発までに緊張とストレスを取り除く工夫が必要かも知れない。

昔、バスには車掌さんがおり、バスがバックをする時には安全確認をしながら笛で誘導していた。これに類似した事が園庭で行えれば、3600秒から4200秒にかけての緊張はかなり緩和するものと思われる。

被験者3（72歳）は、自己に不整脈が発生しているとの認識がなかったが、朝の運転時には不整脈が頻発した。図6に他の被験者と同様に運転開始時刻（7:50）から7200秒後までのRR間隔変動を示す。

運転開始後しばらくしてから不整脈が頻発している事が判る。

測定日、朝は寒かったがこの図に示す前の7:39から7:50そして開始直後のある時刻まで不整脈は発生していない。4000秒あたりの第一便が到着して第二便の迎えに出るまでの間、不整脈は出ていない。運転時は不整脈の発生と共にRR間隔が延伸している。寒い屋外での立位から、暖かい車内での座位という環境と姿勢の変化によるものと考えられる。但し、不整脈がこの変化によって誘発されたものとは考えにくい。

不整脈が存在する場合は、RR間隔変動に伴う自律神経活動評価の方法は使用できないので、この被験者の解析結果は除外した。この不整脈が被験者自身にとってどの程度危険なものか、或いは、バスの運転に際してどの程度危険なのかは、現時点では判断できないし、この発生がこの日たまたまなのか、

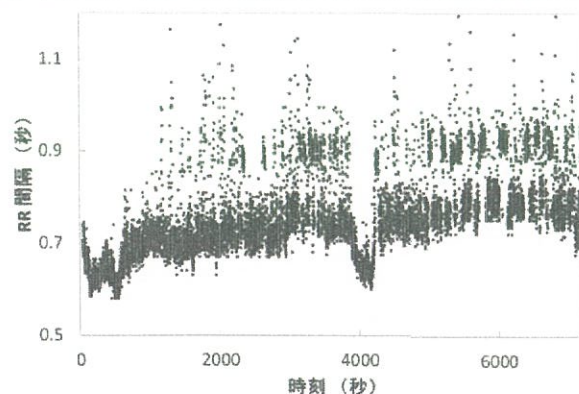


図6 朝のRR間隔変動の挙動（被験者3）

いつもなのかも判らない。とりあえず、今後、測定を繰り返し、経過を観察する事にした。なお、午後の運転時には不整脈の発生は認められなかった。

#### 4. まとめ

朝の交通が混雑する通勤時間帯に幼稚園児を集めてまわるバスの先生達のバス運転時における精神的な負荷は予想よりも遥かに大きく、時には高層マンションの高層階で大地震による大きな揺れを突然経験した場合<sup>り</sup>や、いわゆる『絶叫マシン』に乗った場合<sup>11)</sup>と同様に、自律神経活動の範疇を超えた大きなRR間隔の減少と超低周波成分の強度ピークが時折認められた。更には、自己に不整脈が発生する事を自覚していなかった被験者での不整脈の頻発が発生していたケースもあった。

今後、バスの先生の精神的負荷を軽減し、子ども達により安全な環境を提供する為の工夫が必要である。

一番大事なことはバスの先生方の健康管理である。M-BITの活用によりできる事もいくつか考えられる。

M-BITを使用して睡眠を評価し、常に良い睡眠状態を心がける事は、バスの先生の健康状態を向上し、居眠りの可能性を無くし、また、精神的ないらいによる運転が荒くなるのを防ぐ一方、万が一、事故が起こった場合に、バスの先生達の生活態度等に落ち度が無かった事の証拠として、先生達を守る強固な盾になる<sup>13)</sup>。

また、今回行ったように運転時の自律神経活動をモニターし必要な場合には警報を発する事も、こちら側に咎がない事故の場合には、居眠りをせず集中して出来る限りの努力をした事を示す事ができる証拠になる。

このように健康管理、運転管理と同時に、万が一の場合には自己を守る証拠になるシステムの導入は、バスの先生方の不要な緊張を低減する事ができると考えられる。

3つめの可能性として、バスの先生とペアを組むクラスの先生との相性の判定にもM-BITによる自律神経活動評価を使用する事ができる。バスには、子ども達の世話の為に女性のクラスの先生が一人同乗する。早朝、しかも緊張の大きな状態でコンビを組んで仕事をする場合、その人間関係はプラスにもマイナスにも大きく影響を及ぼす。できれば、プラスになるペアを見つける事が望ましい。

今回、バスの先生にM-BITを装着して自律神経活動、RR間隔変動を測定したのみであり、RR間隔の低減が見られたとき、或いは、交感神経活動が増加したときに『どのような状況か』の全てを知ることにはできなかった。一方、バス等の交通機関の運転状況をモニターし判断するシステムは種々開発されている。今後は、そのような中の一つである『バ

ス動態管理システム』(スマートエージェント社、福岡)<sup>13)</sup>と同時測定を行い、『どのような状況か』という事と対応付けて検討する予定である。

#### 参考文献

- [1] 白水重憲、片山宗哲、正木健雄：幼稚園児の自律神経活動の24時間モニタリング。全面発達の展開 1: 32-41, 2011.
- [2] 白水重憲、成澤元、片山宗哲他：国際基準に基づいた睡眠ポリグラフ判定と超小型生体センサー(M-BIT)の測定データに基づく睡眠解析結果のケース比較。全面発達の展開 2: 8-18 2012.
- [3] 白水重憲、近藤英明、森佳織、片山宗哲：呼吸周波数変動幅によるNREM睡眠領域検出。全面発達の展開: 2:83-90, 2012.
- [4] 白水重憲、近藤英明、片山宗哲：睡眠時の呼吸データの時間周波数解析。全面発達の展開 3: 19-24 2013.
- [5] 白水重憲、近藤英明、片山宗哲：RR間隔変動からの睡眠時無呼吸の自動推定。全面発達の展開 3: 25-30 2013.
- [6] 白水重憲、片山宗哲、正木健雄：RR間隔変動によるNREM睡眠領域推定と睡眠時無呼吸の検出(1) -5歳児の場合-。全面発達の展開 3: 31-38, 2013.
- [7] Shirouzu S., Shirouzu E., Seno Y. et.al.: Four Years Old Children's Physical Activity: Can we confirm the difference of physical activity due to the difference of educational program?. 2014 Health Innovations and Point-of-Care Technologies Conference, 129-132, 2014.
- [8] Shirouzu S., Shirouzu E., Fujitani S. et.al.: Four Years Old Children's Sleep: What can we obtain by using wearable measuring devices at their home?. 2014 Health Innovations and Point-of-Care Technologies Conference, 189-192, 2014.
- [9] 菅野久信、白水重憲、片山宗哲：2011年東北地方太平洋沖地震及びその後の停電等に伴う混乱時のストレス及び身体的負荷の測定例。全面発達の展開:1 1-8 2011
- [10] 白水重憲、片山宗哲、白水陽久：定期試験中の高校生の24時間の自律神経活動。全面発達の展開: 2:65-68, 2012.
- [11] Shirouzu S., Ogima T. and Katayama S.: Autonomic Nervous Systems Activity Measurements of Female University Students of Free Fall at Tokyo Dome City Amusement Park Attraction, 全面発達の展開: 2:29-34, 2012.
- [12] Shirouzu S, Mohamed A S A H, Kim A R et al.: Estimate of Knowledge and Experience Level by Autonomic Nerve Activity During Task Execution, and Follow Up Effect of Education, 全面発達の展開: 2:1-7, 2012.
- [13] 国土交通省：過労運転防止のための機器導入に対する補助制度, 2014.
- [14] 白水陽久、片山宗哲、白水重憲：課題遂行時における自律神経活動から遂行者の課題に関する知識・経験レベルを推定する試み, 全面発達の展開: 3:45-50, 2013.
- [15] 上戸一範様、伊達さおり：バス動態管理システムに関する私信, 2015.