低周波音の人体に及ぼす影響の検討

—トラック運転手のアンケート調査—

河野 淳・山口 秀樹・船坂宗太郎

Effects of Infrasound on Humans

—A Questionnaire Survey of 145 Drivers of Long Distance Transport Trucks—

Atsushi Kawano, Hideki Yamaguchi and Sotaro Funasaka

(Tokyo Medical College)

The drivers of long distance transport trucks exposed to infrasound vibration (about 115 dBA). We studied the effects of infrasound with a questionnaire survey of long distance transport trucks. The questions dealt with general fatigue, yawning, sleepiness, vertigo, tinnitus, headache, sensation of being stifled, hearing impairment, abdominal symptoms and hypertension.

We analyzed statistically the incidence of each symptom in relation to exposure to infrasound, the duration of work, the hours of driving and the hours of rest.

The results were not statistical by significant. Exposure to about 115 dBA of infrasound has no effect on humans.

Key words: infrasound, questionnaire, long distance truck drivers, statistics analysis

はじめに

近年、交通問題や環境問題で低周波音の人体に及ぼす影響が問題となってきた。しかし、実際どの程度の影響を人体に及ぼしているかについては必ずしも明らかでない。

低周波音とは、超低周波音、低周波空気振動、infrasound, low frequency-sound などと同義で呼ばれており、1973年のパリ国際会議では可聴音(周波数 20~20,000 Hz)以下の周波数の音と定義されたが、1980年のアールボルグ(デンマーク)国際会議では 20 Hz 以上でも人体に影響を及ぼすことから周波数範囲を 100 Hz まで拡大することが提案された。さらに実際の低周波音

の発生源も、自動車、鉄道、工場などだけではなく、広く自然界にも存在しており、我々は人によって様々だが少なからず低周波音の暴露をうけていることとなる(表1、後述)。

今回我々は、低周波音の暴露が比較的多いと

表1 低周波音の発生源

自然界:地震, 火山爆発, 雷, 滝, 海の波など
人工産物:交通機関(自動車, 鉄道, 高速道路, 船舶, 航空機など)
工場施設(ボイラー, コンプレッサーなど)
水泳, ジョギングなど

考えられる中長距離輸送トラック運転手を対象に、低周波音暴露状況を測定したうえで、生理的影響として「めまい」「耳鳴り」「頭痛」などの症状を、心理的影響として「脱力感」「あくび」「眠気」などの症状についてアンケート調査を実施し、低周波音暴露と症状出現の関係について検討し若干の知見を得たので報告する。

対象および調査方法

ある運送会社の中長距離輸送トラック運転手の中から無作為に145名を選び対象とした(ただし、質問によっては母集団が145名でない項目がある)。

調査方法は、無記名の質問紙方式とした。

また、対象者の低周波音暴露状況を騒音計を用い測定した。測定方法は、対象者の乗車と同型のトラックを用いた。走行路は一般道と高速道であり、測定点を、運転手頭部付近および車内中央座席とした。低周波音測定は、JIS c 1502 に定める騒音計を用いて JIS Z 8731 に定める騒音測定方法に準じて行った。解析は、2 Hz～100 Hz の範囲で行った。分析は、1 秒間隔でサンプリングし、中央値、90%レンジの上・下端値を求めた。さらに、長時間サンプル分

析と 5 分間サンプル連続分析を行い、各測定点で 1/3 オクターブバンドで周波数分析した。

調査内容および検定方法

調査内容を表 2 に示す。主な内容は、1) 一般背景として年齢、従事年数、一回乗車時間、血圧、2) 直前の勤務(アンケートは中長距離輸送運転の勤務を終えて会社に帰ってきたときに施行したので、アンケート記入直前の勤務を意味する)についての症状(「脱力感」「あくび」「眠気」「めまい」「耳鳴り」「頭痛」「息苦しさ」「聞き取り難さ」)の有無、3) 従来(これまでの中長距離輸送運転勤務全般を通して)の勤務について、2) 直前の勤務と同じ項目(但し「聞き取り難さ」を除く)を、4) 普段の生活について、睡眠の状態(寝付き、深さ、途中覚醒)、疲労、腹部症状、アレルギー症状、食事の規則性、睡眠時間、5) 運転時間、休憩時間などである。

検定方法としてまず、高血圧、腹部症状、アレルギー症状を含め症状の各項目について陽性者と陰性者の 2 群に分類した。そして、数値化可能な年齢、従事年数、一回乗車時間、運転時間(直前、従来)、休憩時間(直前、従来)、睡眠

表 2 調査内容

1) 一般背景	4) 普段の生活
年齢 (歳)	腹部症状 (有, 無)
従事年数 (年)	アレルギー症状 (有, 無)
一回乗車時間 (時間)	寝付き (良, 普通, 悪)
血圧 (高, 正常, 低)	眠りの深さ (深, 普通, 浅)
2) 症状の有無 (直前の勤務)	途中覚醒 (無, たまに, たびたび)
脱力感	疲労 (軽, 普通, 重)
あくび	勤務中の食事の規則性 (有, 無)
眠気	勤務外の食事の規則性 (有, 無)
めまい	勤務中の睡眠時間 (時間)
耳鳴り	勤務外の睡眠時間 (時間)
頭痛	5) 直前の勤務の運転時間 (時間)
息苦しさ	直前の勤務の休憩時間 (時間)
聞き取り難さ	従来の勤務の運転時間 (時間)
3) 症状の有無 (従来の勤務)	従来の勤務の休憩時間 (時間)
(2) 直前の勤務, 聞き取り難さを除く) と同じ	

時間(勤務中、勤務外)について、それぞれ群間の有意差検定(t検定、U検定)を行った。さらに、寝付き、眠りの深さ、途中覚醒、疲労について3段階に、食事の規則性(勤務中、勤務外)について2段階に分類し、それぞれ群間の有意

差検定(χ^2 検定、U検定)を行った。なお、有意差検定は両者共5%を危険率とした。

結 果

A. 調査概要

1) 一般背景の結果を表3に示す。平均年齢

表3 一般背景の結果

	有効件数	平 均	標準偏差	最 低	最 高
年 齢 (歳)	145	36.7	7.8	22	59
従 事 年 数 (年)	139	8.3	5.6	0.3	36
一回乗車時間 (時間)	145	14.5	5.7	4	28

図1 年齢分布

図2 平均従事年数の分布

は36.7歳で, その分布は図1に示す如く22~59歳であり, 平均従事年数は8.3年で, その分布は図2に示す如く0.5~36年に及び, 一回乗車時間の平均は14.5時間で4~28時間に及んでいた. 血圧では, 高血圧が16名(11%), 正常が129名(89%), 低血圧0名(0%)であった.

2) 運転時間, 休憩時間, 睡眠時間の結果を表4に示す. 直前の勤務の運転時間, 休憩時間の平均(標準偏差)はそれぞれ7.3(2.8)時間, 4.4(2.5)時間, 従来勤務の運転時間, 休憩時間の平均(標準偏差)はそれぞれ13.2(5.8)時間, 8.9(4.8)時間. 勤務中, 勤務外の睡眠時間の平均(標準偏差)は, それぞれ6.0(1.4)時間, 8.5(1.0)時間であった.

3) 直前の勤務, 従来勤務での各症状の陽

性者数と出現率を表5に示す. 直前の勤務について陽性率が高いのは, 「眠気」49.7%, 「あくび」42.8%であり, 以下「脱力感」14.5%, 「聞き取り難さ」6.9%, 「耳鳴り」4.1%, 「頭痛」3.4%, 「めまい」「息苦しさ」0.7%であった. 従来勤務について陽性率が高いのは, 「眠気」53.1%, 「あくび」51.0%であり, 以下「脱力感」20.1%, 「頭痛」3.4%, 「めまい」「耳鳴り」2.1%, 「息苦しさ」0.7%であった. 「耳鳴り」を除いて従来勤務の陽性率が直前の勤務の陽性率より高い結果であった.

B. 検定結果

検定結果を表6に示す.

1) 「めまい」「耳鳴り」「息苦しさ」「聞き取り難さ」については, 全項目とも有意差は

表4 運転時間, 休憩時間, 睡眠時間の結果

	有効件数	平均(時間)	標準偏差(時間)
直前の勤務の運転時間	143	7.3	2.8
直前の勤務の休憩時間	142	4.4	2.5
従来勤務の運転時間	144	13.2	5.8
従来勤務の休憩時間	142	8.9	4.8
勤務中の睡眠時間	141	6.0	1.4
勤務外の睡眠時間	141	8.5	1.0

表5 各症状の陽性者数および出現率

	直前の勤務		従来勤務	
	陽性者(名)	率(%)	陽性者(名)	率(%)
脱力感	21	14.5	29	20.1
あくび	62	42.8	74	51.0
眠気	72	49.7	77	53.1
めまい	1	0.7	3	2.1
耳鳴り	6	4.1	3	2.1
頭痛	5	3.4	5	3.4
息苦しさ	1	0.7	1	0.7
聞き取り難さ	10	6.9	—	—

表 6 症状出現に相関が見られた項目

	直前の勤務	従来の勤務
脱力感	<u>疲 労</u> <u>勤務中の食事</u>	従事年数 <u>疲 労</u>
あくび	<u>眠りの深さ</u> <u>途中覚醒</u> <u>疲 労</u>	従来 of 休憩時間 <u>眠りの深さ</u> <u>途中覚醒</u> <u>疲 労</u>
眠 気	年齢（高い程） 従事年数（長い程） 乗車時間（長い程） <u>直前の休憩時間（長い程）</u> 寝付き <u>眠りの深さ</u> <u>途中覚醒</u> <u>疲 労</u> <u>勤務中の食事</u>	<u>直前の休憩時間（長い程）</u> 従来 of 休憩時間（長い程） 寝付き <u>眠りの深さ</u> <u>途中覚醒</u> <u>疲 労</u> <u>勤務中の食事</u>
めまい	な し	な し
耳鳴り	な し	な し
頭 痛	<u>勤務中の食事</u>	<u>勤務中の食事</u>
息苦しさ	な し	な し
聞き取り難さ	な し	—

アンダーラインは、直前の勤務・従来 of 勤務の共通な項目

表 7 症状と低周波音暴露因子との関連性
（統計的に有意差を認めた項目）

	直前の勤務	従来 of 勤務
脱 力 感	—	従事年数が長い程
あ く び	—	—
眠 気	従事年数が長い程 一回乗車時間が長い程	—
め ま い	—	—
耳 鳴 り	—	—
頭 痛	—	—
息 苦 し さ	—	—
聞き取り難さ	—

図 3 高速道，運転手頭部付近の周波数分析結果

表 8 長時間サンプルの低周波音分析の結果
一般道 低周波音圧レベル調査結果
(単位：dB) サンプリング時間：43分間

	中 央 値 (L50)	下 端 値 (L95)	上 端 値 (L5)	等価音圧レベル (Leq)
運転手頭部	98	90	106	101
車 内 中 央	97	89	107	101

高速道 低周波音圧レベル調査結果
(単位：dB) サンプリング時間：32分間

	中 央 値 (L50)	下 端 値 (L95)	上 端 値 (L5)	等価音圧レベル (Leq)
運転手頭部	108	98	115	109
車 内 中 央	108	98	115	110

見られなかった。これは、これらの症状が一般背景、普段の生活背景、運転時間、休憩時間などと症状との間に何等の関係がないことを示唆するものである。

2)「頭痛」については、勤務中の食事の規則性のみに有意差があった。

3)「脱力感」、「あくび」、「眠気」については、表6に示したように複数の項目で有意差が見られ、アンダーラインに示したように直前の勤務と従来の勤務との間に密な関係があることが分かる。「脱力感」は疲労と、「あくび」は眠りの深さ、途中覚醒、疲労と関係が深く、「眠気」は直前の勤務の休憩時間、寝付き、眠りの深さ、途中覚醒、疲労、勤務中の食事と密な関係があることが示された。

4)「高血圧」、「腹部症状」、「アレルギー症状」については、全項目とも有意差は見られなかった。

さらに、低周波音暴露因子(従事年数、一回乗車時間、運転時間、休憩時間)についてのみ、症状出現との関係をみると(表7)、従来の勤務の「脱力感」と従事年数との間に、今回の勤務の「眠気」が従事年数、一回乗車時間との間に相関が見られた。

C. 対象者の低周波音暴露状況

高速道、運転手頭部付近の周波数分析結果を図3に示す。表8に一例として、長時間サンプル分析の結果を示す。分析時間は、一般道43分と高速道32分である。高速道の低周波音は、音圧レベル約98~115 dB(A)であり、その周波数は主に10 Hz以下に存在している。一般道の低周波音の音圧レベルは約89~107 dB(A)で、高速道のそれより約10 dB低い。車内中央座席での測定、5分間サンプル連続分析でも同様の結果であった。

考 案

1) 問題背景

低周波音は、我々の環境内に広く存在している。地震、火山爆発などの自然界、自動車、航空機などの交通機関、ボイラー、コンプレッサー

などの工場機器、さらに自己により生じるものとしてジョギング、水泳などがある(表1)。しかるに、低周波音が人体に何らかの影響を及ぼすことが懸念される。実際、低周波音問題がクローズアップされたのは、ヨーロッパでは1960年代はじめ、我国では1970年代半ばであり、ともに交通問題からであった。しかし、最近の低周波音問題は、我国では一般生活環境のなかのいわゆる公害問題として取り上げられることが多く、欧米では工場、車両や船舶乗員の職場環境に関するものが多く、多少次元が異なる所で取り扱われている。

低周波音に対する苦情内容は表9に示すように多方面に渡っている。その中で具体的症状として「頭痛」「頭重感」「耳鳴り」「腹部症状」「息苦しさ」「高血圧」などがある。これらに対する基礎的研究は少なくないが、必ずしも結果の一致はみられていない。

低周波音の人体への影響は生理的影響と心理的影響に二分され、生理的影響として「めまい」「耳鳴り」「呼吸数変化」などがあり、対象を適切に選べば低周波音暴露とこれらの症状出現との関連を客観的に把握することが可能と思われる。一方、心理的影響については個人差が大き

表9 低周波音に対する苦情内容

物的苦情	○戸、障子、戸棚などがゆれる ○戸、障子、戸棚などががたがたする
心理的苦情	○睡眠が妨害される ○考え事、読書が邪魔される ○気分がいらいらする
生理的苦情	○頭痛や頭の重いことがある ○耳鳴りがする ○耳が圧迫される ○胸や腹に圧迫感がある ○咽頭部に振動感、乾燥感がある ○のどのあたりがこそばゆい ○鼻の中がかゆい ○息苦しい、または咳が出ることがある ○吐き気のすることがある ○胃腸の具合が悪い ○高血圧になった

くかつ訴えが多様であるため、両者の関連について妥当な結論を出すことは容易でない。

2) 今回の研究にあたり

以上の観点から、恒常的に低周波音に暴露されており、低周波音に対する過剰意識を持たず、低周波音に暴露以外に過大な負荷(要因)を受けず日常的に従事していると思われる3点より対象者を選んだ。さらに、調査項目については、一般的に低周波音に対し苦情が多いものの中より、生理的影響として「めまい」「耳鳴り」「息苦しさ」「頭痛」などの症状を、心理的影響として「脱力感」「あくび」「眠気」などの症状を選んだ。

3) 対象者の低周波音暴露状況

低周波音の発生源は既に表1に示したが、これらのうち、前述の条件によって中長距離輸送トラック運転手を選んだわけだが、実際の運行車両の低周波音のレベルは、高速道で約98~115 dB(A)であり、その周波数は主に10 Hz以下に存在している。一般道の低周波音の音圧レベルは約89~107 dB(A)で、高速道のそれより、約10 dB低い。車内中央座席での測定、5分間サンプル連続分析でも同様の結果であった。

4) 聴覚に対する影響

低周波音の聴覚に対する影響は大別して、症状に関するもの、動物実験によるもの、電気生理学的実験によるものがある。

人体に低周波音を暴露すると、20~8,000 Hzの周波数領域でTTS (temporary threshold shift)を生ずるとされている。Jergerら¹⁾、Slarveら²⁾の報告があるが、TTSをもたらし域値についてはまだ十分ではないが、少なくとも130 dB以上と考えられる。Nixon³⁾は18 Hz, 134 dB, 5秒間の耳への直接暴露にて2 k~6 kHzのTTSが出現したとしているが、30分以内に回復をみている。

動物実験としてはMajeau-Chrgousら⁴⁾、Limら⁵⁾の報告があるが、平出ら⁶⁾は白色モルモットに1 Hz, 120 dBSPLおよび140 dBSPL,

10 Hz, 124 dBSPL および 162 dBSPL, 20 Hz, 133 dBSPL, 140 dBSPL および 163 dBSPL の低周波音を1時間暴露し、側頭骨を走査電顕にて観察している。それによると、共通した所見として、第3回転、第4回転と上方に向かうに従ってラセン器表面に繊維素様物質の沈着が認められ、ラセン器有毛細胞の感覚毛の乱れおよび細胞体の一部の膨化像がみられた。これらの変化は10~20 Hz, 140~163 dBSPLに高率に観察されており、低周波音の一部は蝸牛の機能に対し障害を及ぼす可能性を示唆している。

今回の結果では、「聞き取り難い」としたのは10名であったが、うち5名はトンネルの中など地形によって聞こえが悪いとしているので、実際に聞き取りが悪い、難聴と取れるのは5名である。また「耳鳴り」は6名あったが、これらはいずれも低周波音暴露と明らかな有意関係はなかった(表6, 7)。

5) 前庭器への影響

前庭器への影響について大別すると、眼振検査(Evansら⁷⁾, Harrisら⁸⁾), 重心動揺検査(岡本ら⁹⁾), 組織学的検討(平出ら¹⁰⁾)がある。

岡本ら⁹⁾は、正常者17名に低周波音を暴露し重心動揺検査を施行した。10 Hz, 128 dB, 17分全身暴露を行った場合、著明な変動を見たのは1名であったが、暴露を止めると回復した。但し、10 Hz, 128 dBと15 Hz, 128 dBの重心動揺面積の平均値と標準偏差を比べると前者が明らかに大きくなっていた。しかし、低周波音の前庭器への影響を明らかと報告しているのは無く、可聴音暴露では105 dBで影響が認められた(Harris¹¹⁾)ことより、低周波音暴露の際、歪で生じた可聴音によって引き起こされたと考えるのが妥当であろう。

今回の検査では、「めまい」は3名みられたに過ぎず、低周波音暴露の影響は全く考えられない(表6, 7)。

6) 「呼吸」「頭痛」への影響

呼吸については、直接的な共振周波数の問題、呼吸中枢を介し自律神経が関与する場合などが

考えられている。Johnson¹²⁾によれば犬による実験で音圧を上昇させると呼吸数は減少し、172 dB で呼吸停止が生じたとしている。岡井¹³⁾は 25 Hz, 110 dB 暴露の数秒後に呼吸数は減少する傾向が認められたが、暴露を止めると元に戻ったとしている。Von Gierke¹⁴⁾は呼吸数が 130 dB 付近で変化し始めたとしている。今回の結果では、「息苦しさ」を指摘したのは 1 名に過ぎず、低周波音暴露と何ら関係ないと言える(表 6, 7)。

頭痛については明らかな要因は文献的にも不明だが、今回「頭痛」を認めたのは 5 名であったが、低周波音暴露との明らかな相関は認めなかった(表 6, 7)。

7) 心理的影響

低周波音を含め騒音による心理的影響として、睡眠障害、脱力感などがあるが、これらの因果関係は明らかではなく、多分に主観的評価を含むと思われる。

今回の検討では、従来の勤務で「眠気」53.1%、「あくび」51.0%、「脱力感」20.1%と高率に認められたが、低周波音暴露因子との相関においては、従来の勤務の「脱力感」と従事年数との間に、直前の勤務の「眠気」が従事年数、一回乗車時間との間に相関が見られた。しかし、いずれも直前の勤務または従来の勤務の一方であり、それぞれの低周波音暴露因子が「眠気」「脱力感」と有意に相関があると結論づけることはできない。

8) 低周波音の許容範囲

低周波音暴露で影響を及ぼさない許容範囲について Nixon³⁾は表10のような範囲を示している。つまり、周波数 20 Hz では短時間であれ

ば 132 dB 以下、24時間であれば 118 dB 以下である。今回の調査対象者の低周波音暴露時間は24～28時間で、暴露音圧は 115 dB であるので、Nixon の報告に矛盾しない。

まとめ

低周波音が人体にどのような影響を与えるかについて、比較的多くの低周波音の暴露を受けていると思われる中長距離輸送トラック運転手 145名を対象に、症状(「脱力感」,「あくび」,「眠気」,「めまい」,「耳鳴り」,「頭痛」,「息苦しさ」,「聞き取り難さ」,「腹部症状」,「アレルギー症状」,「高血圧」)出現の有無と低周波音暴露因子(従事年数、一回乗車時間、運転時間、休憩時間)との関係について、直前の勤務と従来の勤務に分け統計的検討を行った。

症状の出現率は、直前の勤務と従来の勤務それぞれ「脱力感」14.5%, 20.1%, 「あくび」42.8%, 51.0%, 「眠気」49.7%, 53.1%, 「めまい」0.7%, 2.1%, 「耳鳴り」4.1%, 2.1%, 「頭痛」3.4%, 3.4%, 「息苦しさ」0.7%, 0.7%, 「聞き取り難さ」6.9%(直前の勤務のみ)であった。また、「腹部症状」は4.1%, 「アレルギー症状」は10.1%, 「高血圧」は11%にみられた。

症状出現と低周波音暴露因子との関係では、明らかな関係は見られなかった。

以上より中長距離輸送トラック運転手程度の低周波音暴露(115 dB (A))では、人体に影響は無いと結論された。

本論文の一部は第52回耳鼻咽喉科臨床学会(名古屋)において口演した。

参考文献

- 1) Jerger J, Alford B and Coats A : Effects of very low frequency tones on auditory thresholds. J Speech Hear Res 9 : 150~160, 1966.
- 2) Slarve RN and Johnson DL : Human whole body exposure to infrasound. Aviant Space Environ Med 46 : 428~431, 1975.
- 3) Nixon CW : Human auditory response to intense infrasound. Proceedings of the Colloquium on infrasound. pp 315~336, Centre Na-

表10 低周波音の許容限度

暴露時間 \ 周波数 (Hz)	1	5	10	20
1 (時間)	145	138	135	132
8 (時間)	136	129	126	123
24 (時間)	131	124	121	118

- tional de la Recherche Scientifique, Paris, 1973.
- 4) Majeau-Chrgous DA, Berlin CI and Whitehouse GD : Sonic boom effects on the organ of Corti. *Laryngoscope* **80** : 620~630, 1970.
 - 5) Lim DL, Dunn DE and Johnson DL : Trauma of the ear from infrasound. *Acta Otolaryngol* **94** : 213~231, 1982.
 - 6) 平出文久, 原田博文, 細川 智, 他 : Infrasound のモルモット聴器に及ぼす影響. *Audio-logy Japan* **27** : 355~356, 1984.
 - 7) Evans MJ and Tempest W : Some effects on infrasonic noise in transportation. *J Sound and Vib* **22** : 19~24, 1972.
 - 8) Harris CS, Sommer HC and Johnson DL : Review of the effects of infrasound on man. *Aviat Space Environ Med* **47** : 430, 1976.
 - 9) 岡本 健, 吉田昭男, 前田規久子, 他 : 低周波音の人体に及ぼす影響. *耳鼻* **30** : 414~422, 1984.
 - 10) 平出文久, 梶 博幸, 田辺哲也 : 低周波音のモルモット聴器に及ぼす影響 —光学顕微鏡学的観察—. *耳展* **30** : 443~447, 1987.
 - 11) Harris CS : Human equilibrium during acoustic stimulation by discrete frequencies. Wright Patterson Air Force Base. Aerospace Medical Research Laboratory, Ohio, 1968.
 - 12) Johnson DL : Audiology and physiological effect of infrasound. *Inter-Noise 75* (Sendain Proc) : 475~480, 1975.
 - 13) 岡井 治 : 低周波音の生理学的影響. 文部省「環境科学」特別の研究騒音, 振動の評価手法報告. 163~180頁, 1981.
 - 14) Von Gierke : Infrasound and low frequency vibration. pp 115~150, Academic Press, London, 1976.
- (原稿受付 : 平成 3 年 3 月 22 日
原稿採扱 : 平成 3 年 4 月 30 日
別刷請求先 : 河野 淳
〒160 東京都新宿区西新宿6-7-1
東京医科大学耳鼻咽喉科学教室)