

【研究課題名】

**風力発電等による低周波音・騒音の  
長期健康影響に関する疫学研究**

研究代表者:石竹達也(久留米大学医学部)

研究実施期間:平成25～27年度

累積予算額:69,496千円

# 研究体制

=サブテーマ=

1) 健康リスクの事前評価方法 (Health Impact Assessment) の

有用性: 久留米大学医学部 石竹達也

2) 超低周波音・騒音の疫学調査(横断研究):

産業医科大学 藤野善久

3) 風力発電施設近隣居住宅の環境評価:

帝京大学大学院 原邦夫

4) 関連情報の収集・分析: 産業医科大学 久保達彦

# 研究目的

低周波音・騒音の長期健康影響を調べることを主目的に既に風力発電施設が稼働している地域住民を対象に、疫学研究(横断的研究)を実施し、

- 1) 超低周波音(20Hz以下)・騒音が長期健康影響(睡眠障害)のリスク・ファクターである可能性について検討する。
- 2) これにより今後の風車騒音に対する行政的対応の指針や環境影響評価に健康影響の視点を導入した事前評価手法の確立を目指す。

# 低周波音・騒音の疫学(横断)調査

- 対象地域: 鹿児島県出水郡長島町
- 対象者: 長島町に居住する20歳以上の者(約9,000名)
- 調査時期: 2014年12月(再調査)
- 配布方法: 長島町内の公民館区(57)の館長を協力の下、回覧板配付時に併せて各世帯に調査票を配付した。
- 調査票回収期限: 2015年2月末
- 調査項目: 基本属性(性別、年齢、身長、体重)、家族構成、住居・居住生活に関する項目、生活習慣(飲酒、喫煙、嗜好品)、社会経済要因(職業、有害業務など)、健康に関する項目<病歴、K-6(抑うつ調査票)、自覚的健康度、アテネ不眠尺度>、騒音(アノイアンス)に関する項目、風力発電施設に関する項目等。

回収総数 2,593名(回収率:  $2,593/9,163=28.3\%$ ) (初回:  $1,621/9,163=17.3\%$ )

↓ 性、年齢未記入(75名)、公民館地区未記入(29名): 距離/曝露情報なし、年齢80歳以上(287名)の計401名削除し、

分析対象者は 2,192名 ( $2,192/7,771=28.2\%$ ) であった(初回:  $1,104/9,163=12.0\%$ )

記名のあったものは、1,844名(分析対象者の84.1%)

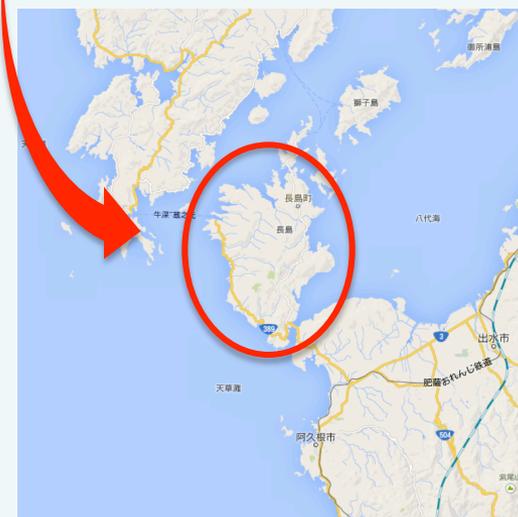
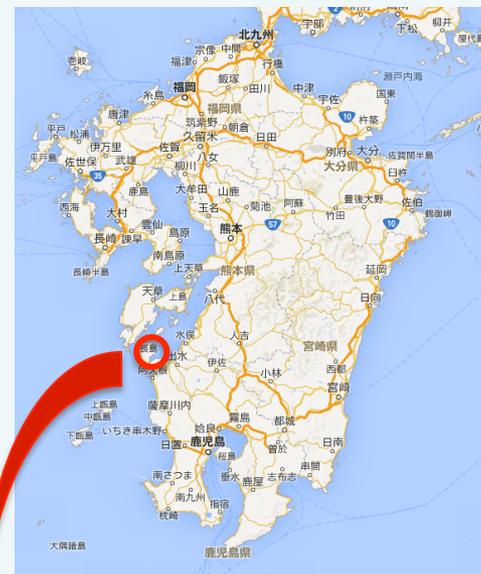
# 調査対象地区

## 鹿児島県出水郡長島町

鹿児島県の北部に位置し、長島本島、伊唐島ほか大小23の島々からなる。長島本島と阿久根市とは黒之瀬戸大橋で結ばれている。海上で熊本県天草市と隣接。

人口は約10,400人(平成18年合併)。

産業は漁業(養殖ブリ、アオサ)、農業(島みかん、ジャガイモ、サツマイモ:芋焼酎「島美人」が特産)、畜産など



# 長島風力発電所(九州電力)の概要

運転開始8年目



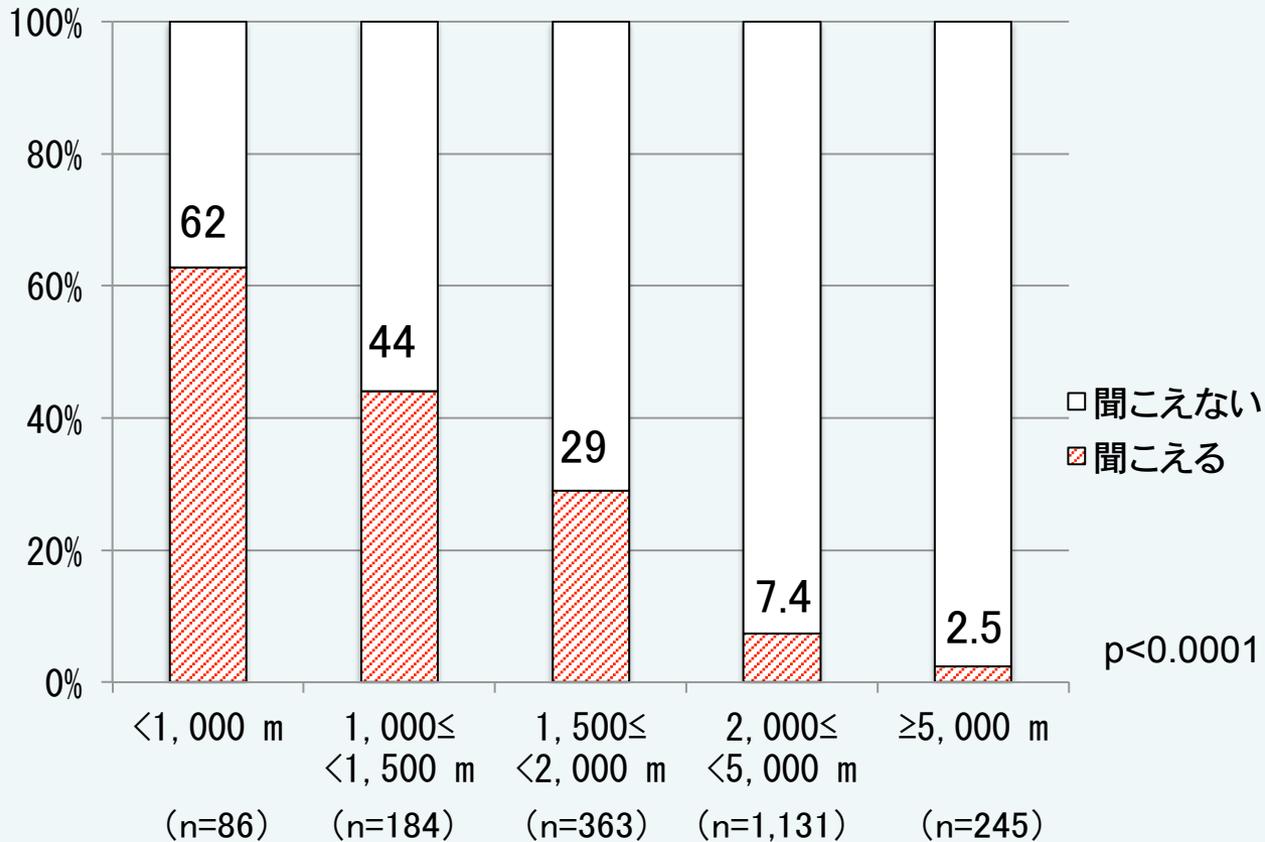
●は風力発電設備の位置



運転開始		平成20年10月
出力		50,400kW (2,400kW×21基)
風況条件	起動風速	3.5メートル/秒
	定格風速	12.5メートル/秒
	停止風速	25.0メートル/秒
ロータ	配置方式	アップウィンド
	羽根枚数	3枚
	直径	92メートル
発電機	定格回転数	9～16.9回転/分(可変速)
	方式	3相誘導発電機
	電圧	690V
	回転数	1,360回転/分
タワー	周波数	60Hz
	構造形式	モノポール
運転制御	タワーの高さ	70メートル
	対風向制御	ヨー制御[電動でプロペラ向き(ヨー)を変える]
	対風速制御	ピッチ制御[油圧でプロペラ角度(ピッチ)を変える]

# 風車までの距離と聞こえるかどうか

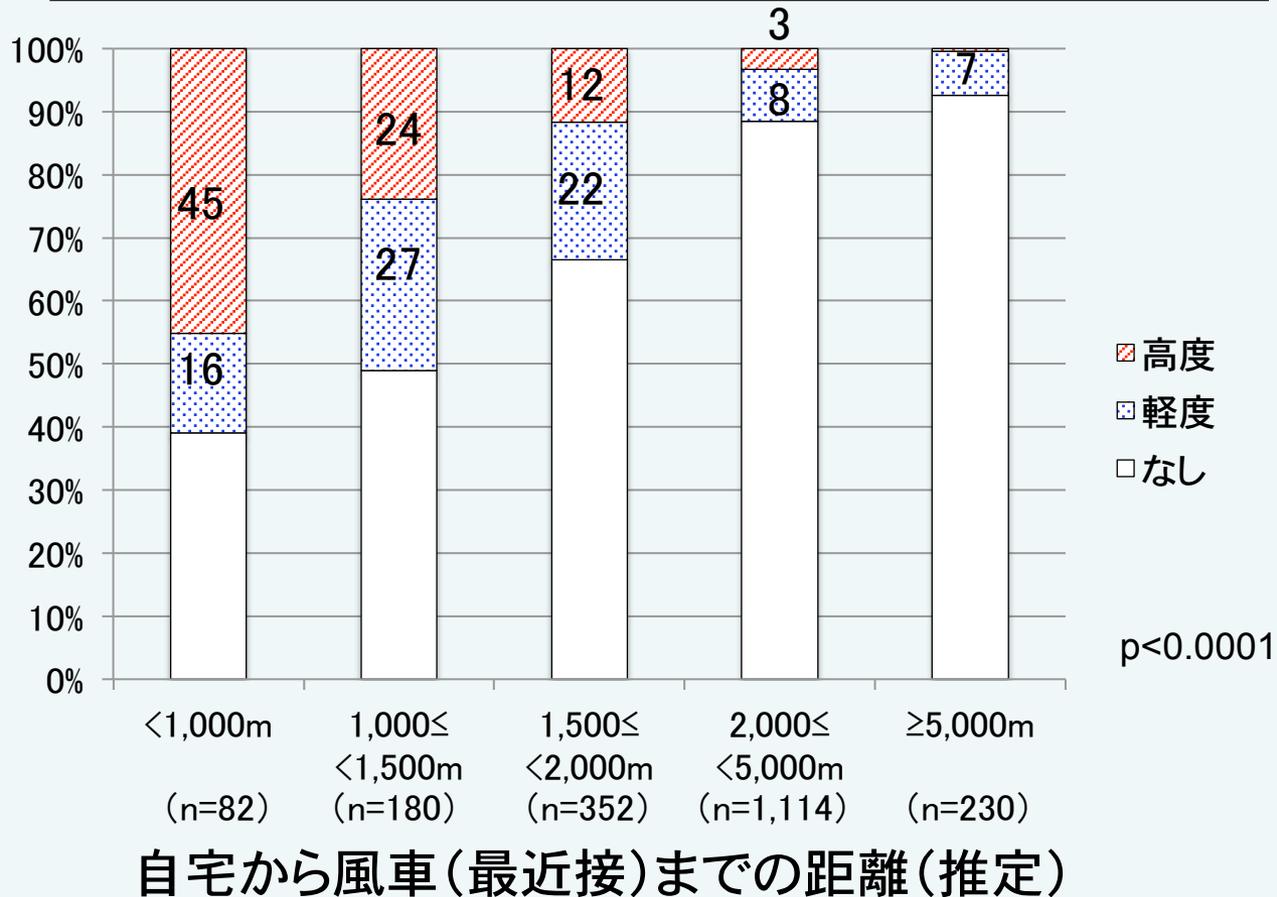
質問:「自宅にいるとき、風力発電施設からの音が聞こえますか」



自宅から風車(最近接)までの距離(推定)

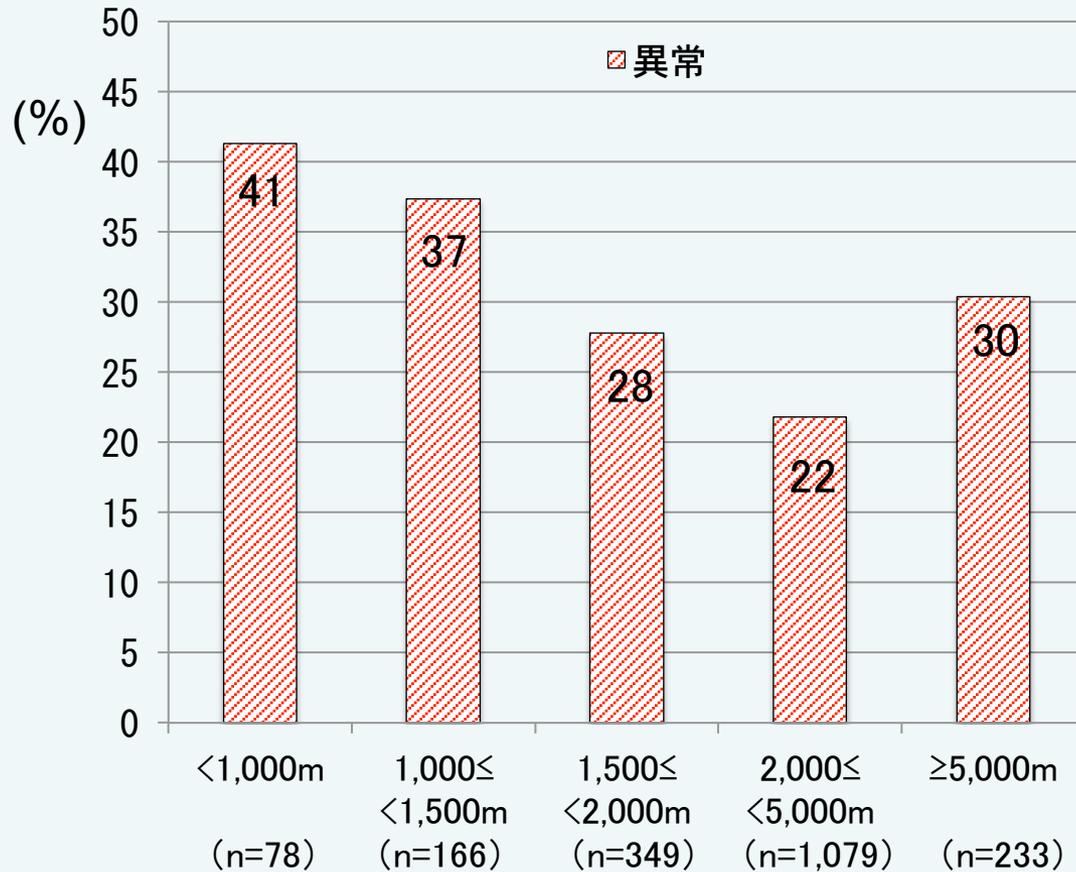
# 風車までの距離とアノイアンス(風車)

質問:「自宅で、風力発電施設からの音に悩まされたり、うるさく感じるがありますか」



# 風車までの距離と睡眠障害

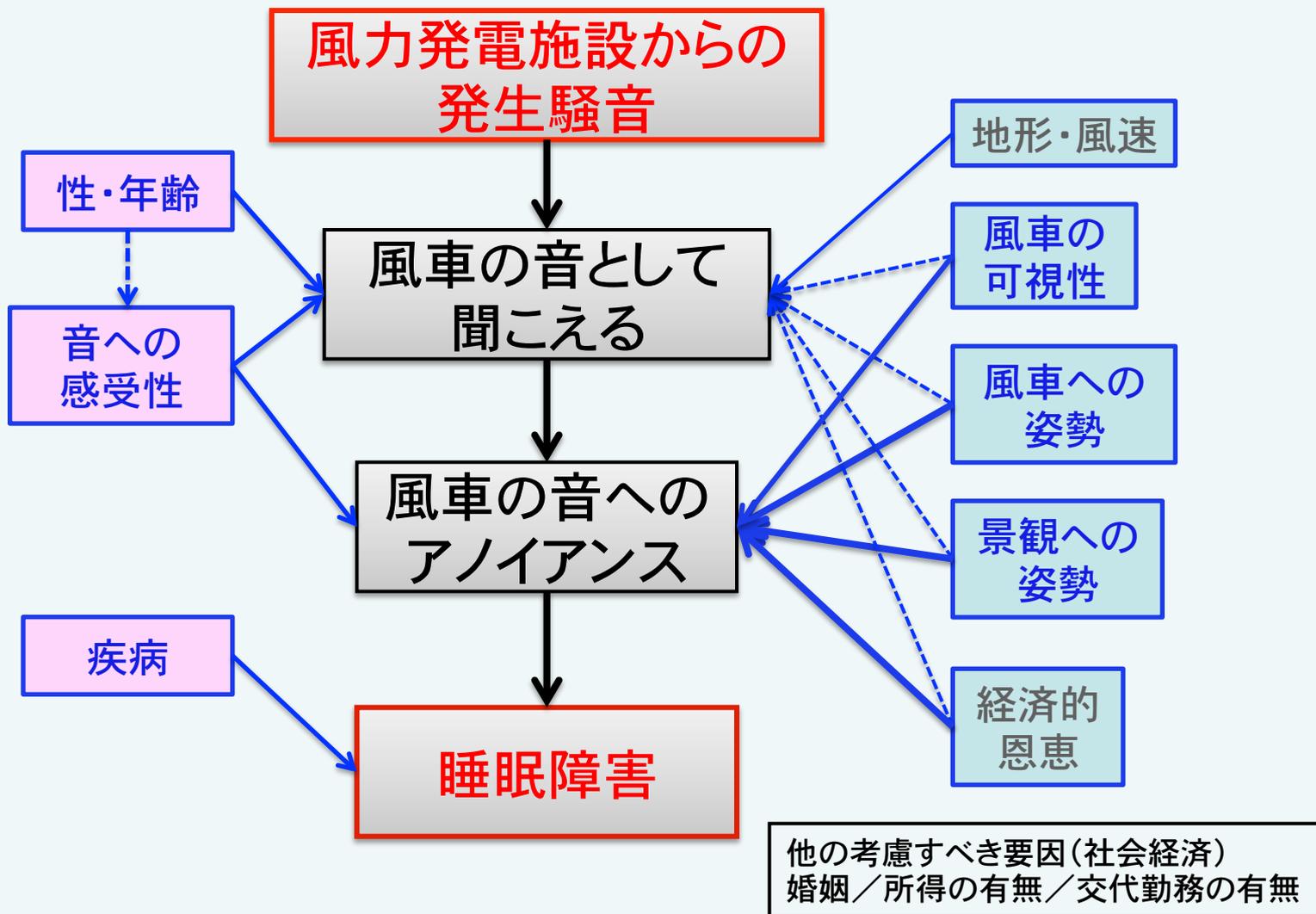
アテネ不眠尺度で異常( $\geq 6$ )の割合



$p<0.0001$

自宅から風車(最近接)までの距離(推定)

# 風力発電施設から発生する超低周波音・騒音が健康障害(睡眠障害)のリスク・ファクターになるか?



## 「自宅から風力発電の音が聞こえる」と睡眠障害(アテネ不眠尺度 $\geq 6$ 点)

オッズ比(95%信頼区間)

	n	ケース数 (%)	モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
聞こえない (基準)	1,718	397(23.1)	1.00		1.00		1.00	
聞こえる	320	131(40.9)	2.28(1.77-2.93)	<0.0001	2.15(1.63-2.83)	<0.0001	1.89(1.41-2.52)	<0.0001

モデルa:①性、②年齢、③音への感受性で調整

モデルb:モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整

モデルc:モデルbに加えて⑦風車への態度(現在)、⑧風車の景観で調整

モデルaで有意だった因子は性(1.37)、年齢(1.01)、音への感受性(1.75)

モデルbで有意だった因子は性(1.29)、年齢(1.01)、音への感受性(1.76)、仕事の有無(1.34)、交代勤務(1.86)

モデルcで有意だった因子は、性(1.31)、音への感受性(1.72)、仕事の有無(1.36)、交代勤務(1.88)、現在の気持ち(5.03)

「自覚的に風車騒音が聞こえる」と回答した人は「聞こえない」に対して、睡眠障害の割合が有意に増大(オッズ比:2.15)した。

風車からの距離(公民館)と睡眠障害 (アテネ不眠尺度≥6点)

オッズ比(95%信頼区間)

	n	ケース数(%)	モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
1,000 m未満	78	32(41.3)	2.43(1.50-3.89)	0.0004	2.36(1.35-4.04)	0.0028	1.93(1.08-3.38)	0.0280
1,000 m～1,500 m	166	62(37.4)	2.11(1.49-2.98)	<0.0001	2.06(1.41-3.00)	0.0003	1.91(1.29-2.83)	0.0018
1,500 m～2,000 m	349	97(27.8)	1.35(1.02-1.79)	0.0336	1.32(0.97-1.79)	0.0820	1.32(0.96-1.80)	0.0859
2,000 m～5,000 m (基準)	1,079	235(21.8)	1.00		1.00		1.00	
5,000 m～	293	80(27.3)	1.38(1.02-1.85)	0.0377	1.25(0.90-1.74)	0.1827	1.24(0.88-1.73)	0.2134

モデルa:①性、②年齢、③音への感受性で調整  
 モデルb:モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整  
 モデルc:モデルbに加えて⑦風車への態度(現在)、⑧風車の景観で調整

モデルaで有意だった因子は性(1.36)、年齢(1.01)、音の感受性(1.79)  
 モデルbで有意だった因子は性(1.28)、年齢(1.02)、音の感受性(1.78)、交代勤務(1.93)  
 モデルcで有意だった因子は性(1.30)、年齢(1.02)、音の感受性(1.79)、交代勤務(1.94)、現在の気持ち(5.46)

風車からの距離が1,500m未満に居住している人は、2,000m以上離れた距離に居住する人に対して、睡眠障害の割合が有意に増大(オッズ比:約2倍)した。

注)・モデルaに港の有無で調整すると、5,000m以上の有意なオッズ比が消失  
 ・対象者よりうつ病除外(n=82)しても傾向は不変

風車騒音の距離減衰式

$$dB(L_{Aeq,WTN}) = -20.9 \cdot \log_{10}(\text{距離}:m) + 96.7$$

## 夜間風車騒音( $L_{Aeq}$ )と睡眠障害(アテネ不眠尺度 $\geq 6$ 点)

オッズ比(95%信頼区間)

	n	ケース数(%)	モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
① <20 dB(A)	273	76(27.8)	1.24 (0.90-1.70)	0.1880	1.20(0.85-1.69)	0.2944	1.21(0.85-1.71)	0.2884
② 20-<25(基準)	712	167(23.5)	1.00		1.00		1.00	
③ 25-<30	517	114(22.1)	0.91 (0.69-1.19)	0.4725	0.84 (0.62-1.13)	0.2422	0.83 (0.61-1.13)	0.2297
④ 30-<35	257	91(35.4)	1.73 (1.26-2.36)	0.0007	1.53 (1.08-2.13)	0.0153	1.43 (1.01-2.03)	0.0462
⑤ 35-<40	146	48(32.9)	1.56 (1.05-2.29)	0.0272	1.56 (1.00-2.38)	0.0489	1.34 (0.85-2.08)	0.2094
⑥ >40	0	-						

モデルa:①性、②年齢、③音への感受性で調整

モデルb:モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整

モデルc:モデルbに加えて⑦風車への態度(現在)、⑧風車の景観で調整

モデルaで有意だった因子は性(1.28)、年齢(1.01)、音への感受性(1.89)

モデルbで有意だった因子は年齢(1.02)、音への感受性(1.93)、交代勤務(1.92)、収入(1.34)

モデルcで有意だった因子は、年齢(1.01)、音への感受性(1.85)、交代勤務(1.84)、収入(1.36)、現在の気持ち(5.73)

夜間の風車騒音( $L_{Aeq}$ )レベルが30~35dBでは、20~25dBに対して、睡眠障害の割合が有意に増大(オッズ比1.5)した。

## 夜間風車騒音と残留騒音の差(5dB)と睡眠障害 (アテネ不眠尺度 $\geq 6$ 点)

オッズ比(95%信頼区間)

	n	ケース数(%)	モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
5 dB未満 (基準)	1,642	406(24.7)	1.00		1.00		1.00	
5 dB以上	263	90(34.2)	1.58(1.20-2.09)	0.0015	1.59(1.16-2.16)	0.0042	1.48(1.06-2.04)	0.020

モデルa:①性、②年齢、③音への感受性で調整

モデルb:モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整

モデルc:モデルbに加えて⑦風車への態度(現在)、⑧風車の景観で調整

・風車騒音と残留騒音の差が5dB以上の場合は、5dB未満に比し、睡眠障害の割合が有意に増大(オッズ比1.6)した。

# 「風車の音が聞こえない」と回答した集団 (n=1,827人)

## 風車からの距離と睡眠障害 (アテネ不眠尺度 $\geq 6$ 点)

オッズ比(95%信頼区間)

	n	ケース数(%)	モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
1,000 m未満	29	4(13.8)	0.58(0.17-1.53)	0.2939	0.33(0.05-1.16)	0.0897	0.28(0.05-1.03)	0.0567
1,000 m~1,500 m	92	29(31.5)	1.69(1.04-2.67)	0.0337	1.43(0.84-2.37)	0.1806	1.46(0.84-2.45)	0.1731
1,500 m~2,000 m	245	56(22.9)	1.09(0.77-1.52)	0.6163	1.09(0.74-1.57)	0.6695	1.15(0.78-1.68)	0.4761
2,000 m~5,000 m (基準)	993	209(21.1)	1.00		1.00		1.00	
5,000 m~	278	75(27.0)	1.42(1.04-1.92)	0.0283	1.30(0.92-1.82)	0.1390	1.26(0.88-1.78)	0.2012

モデルa:①性、②年齢で調整

モデルb:モデルaに加えて③交代勤務、④収入のある仕事の有無、⑤婚姻で調整

モデルc:モデルbに加えて⑥風車への態度(現在)⑦風車の景観で調整

モデルa(解析有効数1,626)で有意だった因子は性(1.55)、年齢(1.01)

モデルb(解析有効数1,403)で有意だった因子は性(1.51)、年齢(1.02)、交代勤務(1.85)

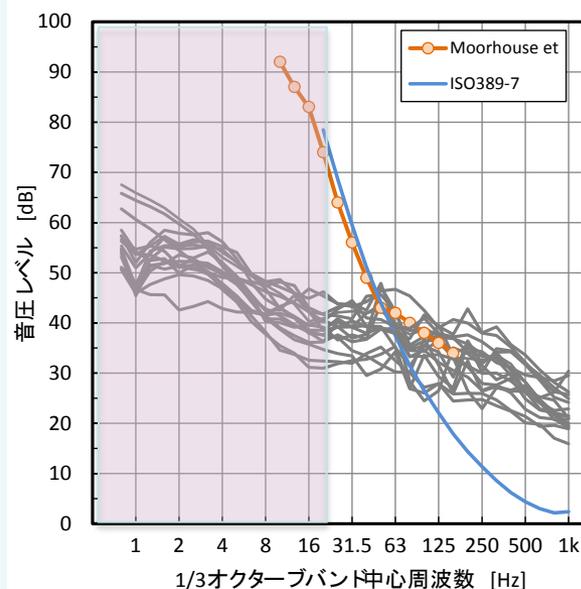
モデルc(解析有効数1,385)で有意だった因子は性(1.48)、年齢(1.02)、交代勤務(1.85)、現在の気持ち(3.55)

「風車の音が聞こえない」と回答した集団では、風車からの距離と睡眠障害の割合には有意な関連はみられない。

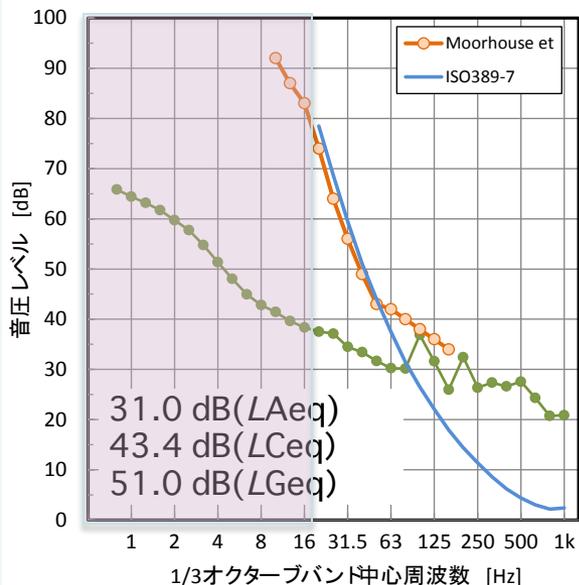
# 風車騒音の周波数特性

- 最近接風力発電施設から2,061 m離れた地点でも夜間に騒音として聞こえている場合があった(7dB)
- 20 Hz以下の超低周波音レベル $L_{Geq,WTN}$ は46 ~ 73 dB (Moorhouseらによる閾値以下)
- 騒音として確認できた場所での風力発電施設からの騒音レベル $L_{Aeq,WTN}$ は26 ~ 52 dB
- 50Hz ~ 250Hzにかけての機械音と思われるいくつかの卓越成分

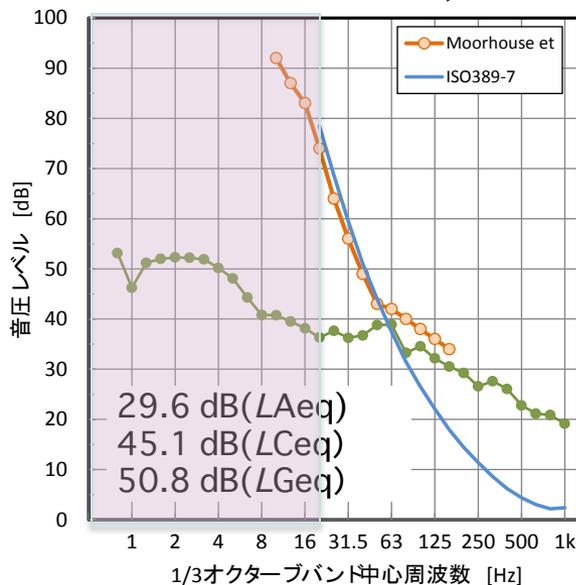
公民館位置における調査結果(全調査結果)



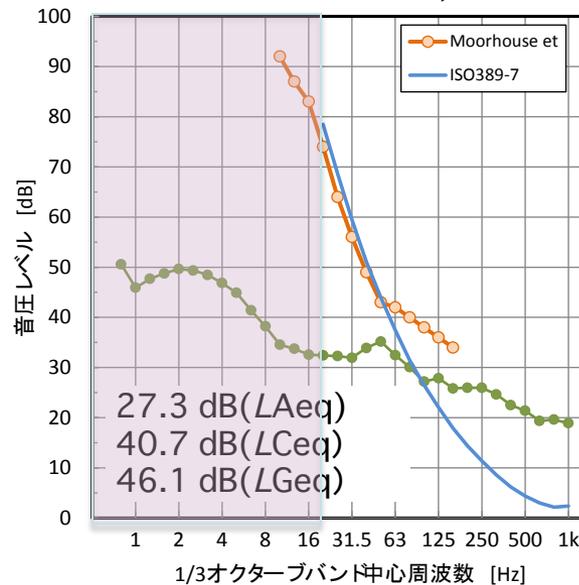
地点:M02 風車距離:730m



地点:M51 風車距離:1,020m



地点:M 風車距離:2,061m



## 風車設置への態度「現在:好ましい」と回答した集団 (n=915人) 距離と睡眠障害 (アテネ不眠尺度 $\geq 6$ 点)

オッズ比(95%信頼区間)				
	n	ケース数(%)	モデル a	p値
1,000 m 未満	27	8(29.6)	1.91 (0.76-4.42)	0.1611
1,000 m~1,500 m	62	14(22.6)	1.34 (0.68-2.50)	0.3818
1,500 m~2,000 m	146	34(23.3)	1.41 (0.89-2.20)	0.1452
2,000 m~5,000 m (基準)	497	88(17.7)	1.00	
5,000 m~	113	27(23.9)	1.62 (0.97-2.64)	0.0644

モデルa:①性、②年齢で調整

風車設置への態度(現在:好ましい)と回答した集団では、風車からの距離と睡眠障害の割合には有意な関連はみられない。

# まとめ

風力発電施設から発生する騒音(可聴音)は条件によって健康影響(睡眠障害)のリスク・ファクターの可能性が高い。

- 1) 自覚的に聞こえることが重要(オッズ比約2倍)
- 2) 距離が近いこと(1,500m以内)(オッズ比約2倍)
- 3) 風車騒音と残留騒音の差(5dB以上)(静穏地区の特性)(オッズ比約1.5倍)
- 4) 風車から2,000mの距離で風車音が特定できた。
- 5) 周波数分析結果より超低周波音(<20Hz)は閾値以下であり、健康の影響は考えにくい。
- 6) 風力発電施設への態度(オッズ比5倍前後)。その他としては、「音への感受性」、「収入」「交代勤務」

## 対策

- 1) 風力発電施設設置前の合意形成を十分行い、風力発電施設への住民態度を良好なものにする。
- 2) セットバック距離を可能な限り十分確保する。
- 3) 風車騒音は超低周波音(20Hz未満)と騒音(可聴音)に分けて検討し、あるレベル以上の騒音には防音対策が必要である。

## 本調査研究の課題

- 1) 調査地区の特性(代表性)
- 2) アンケート調査の回収率(30%弱)
- 3) 距離情報(風車から住居まで): 所属  
公民館位置で代表
- 4) 風車騒音の推計値として距離減衰式  
を利用(妥当性)
- 5) ケース・コントロール研究の対象数
- 6) 疫学研究デザインが横断研究

# 研究成果発表

## 1) 誌上発表

- ① 森松嘉孝、久保達彦、藤野善久、原邦夫、石竹達也. デンマーク国における風力発電事情. 公衆衛生 79(3):189-192. 2015.
- ② 森松嘉孝、久保達彦、藤野善久、原邦夫、石竹達也. 英国における風力発電事業の実状-HIA (Health Impact Assessment) に着目して-. 公衆衛生 2016 (掲載予定)

## 2) 口頭発表

- ① 太田達也、福島昭則、原邦夫、石竹達也. 静穏地区における環境騒音の構成. 財団法人日本騒音制御工学会秋季研究発表会 講演論文集 125-128. 2015.
- ② Morimatsu Y, Hara K, Fujino Y, Kubo T, Matsumoto Y, Kushino N, Mori M, Hoshiko M, and Ishitake T. Relationship between exposure to wind turbine noise and subjective and objective sleep disorder in southern part of Japan; a pilot study using new technology in sleep monitoring watch “actigraphy”. 6<sup>th</sup> International Conference WIND TURBINE NOISE 2015, Glasgow, Scotland 20-23 April 2015.

## 3) その他

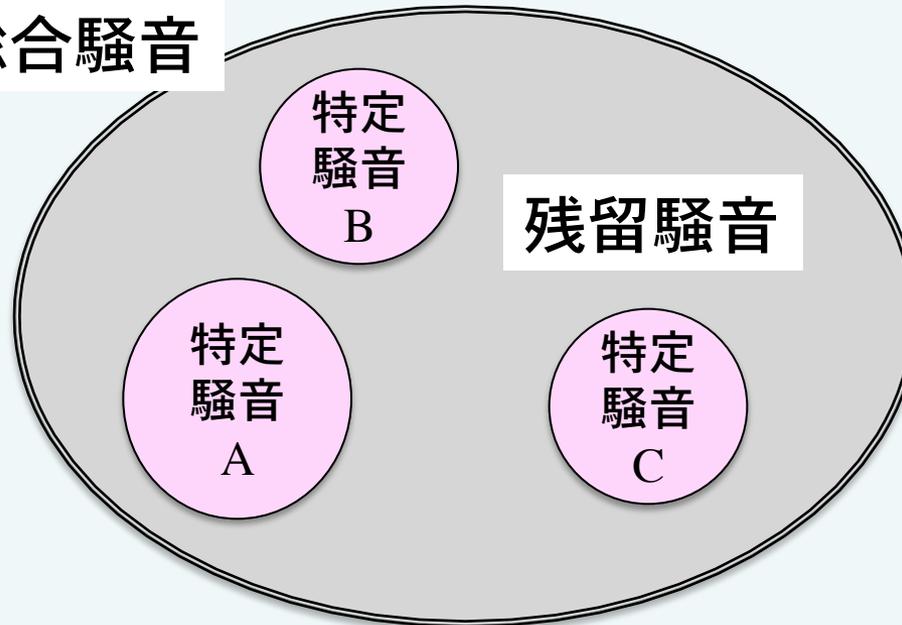
- ① 石竹達也: 講演「低周波音・騒音の健康影響」下関市環境審議会勉強会、2014年7月7日(下関市)

# 參考資料

# 騒音(用語)

- ①総合騒音:ある場所におけるある時刻の総合的な騒音
- ②特定騒音:総合騒音の中で、音響的に明確に認識できる騒音
- ③残留騒音:総合騒音から、すべての特定騒音を除いた残りの騒音
- ④暗騒音:ある特定の騒音に着目した、それ以外の騒音

総合騒音

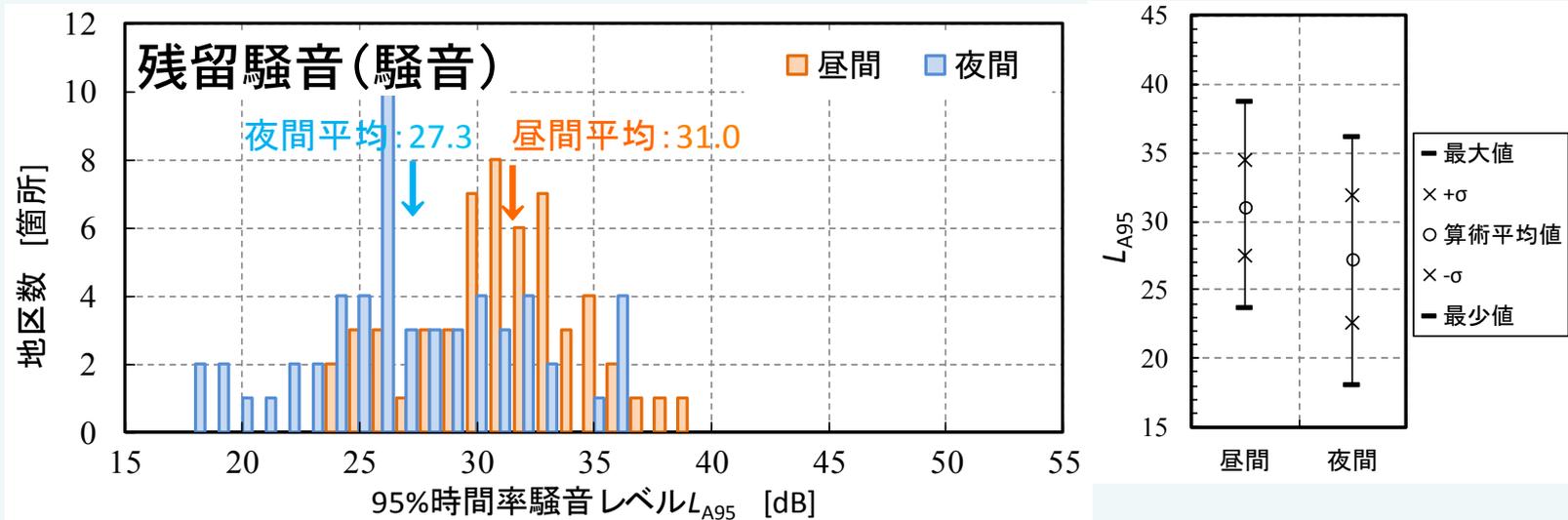
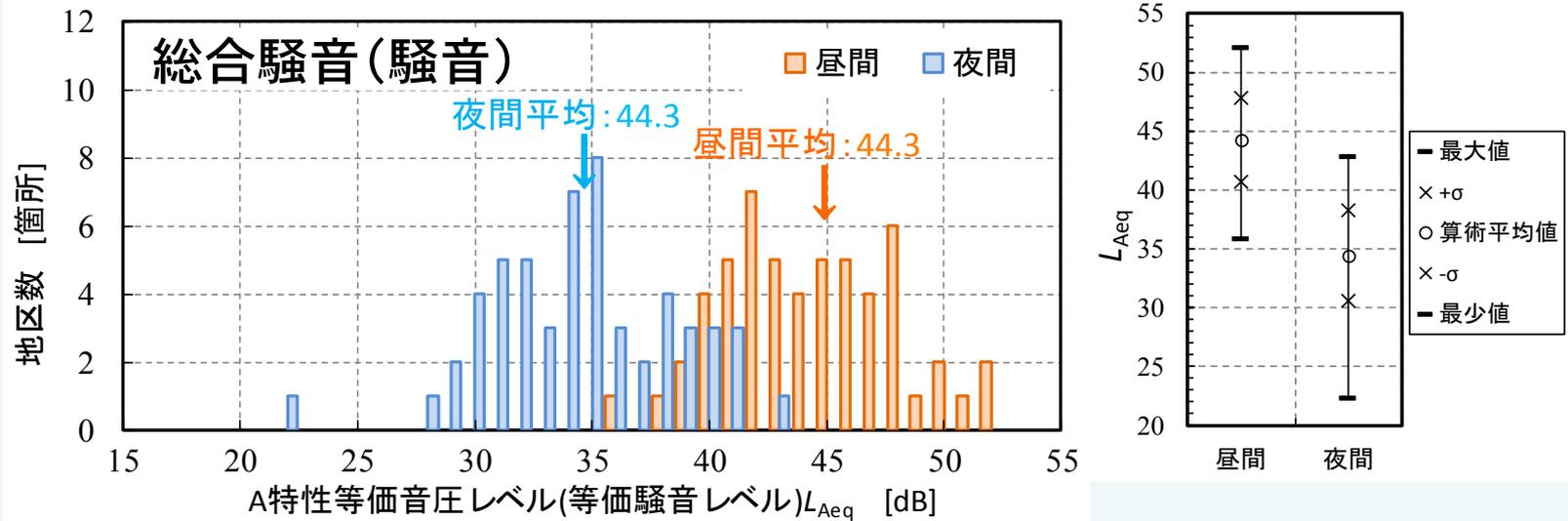


風車騒音は特定騒音の一つ

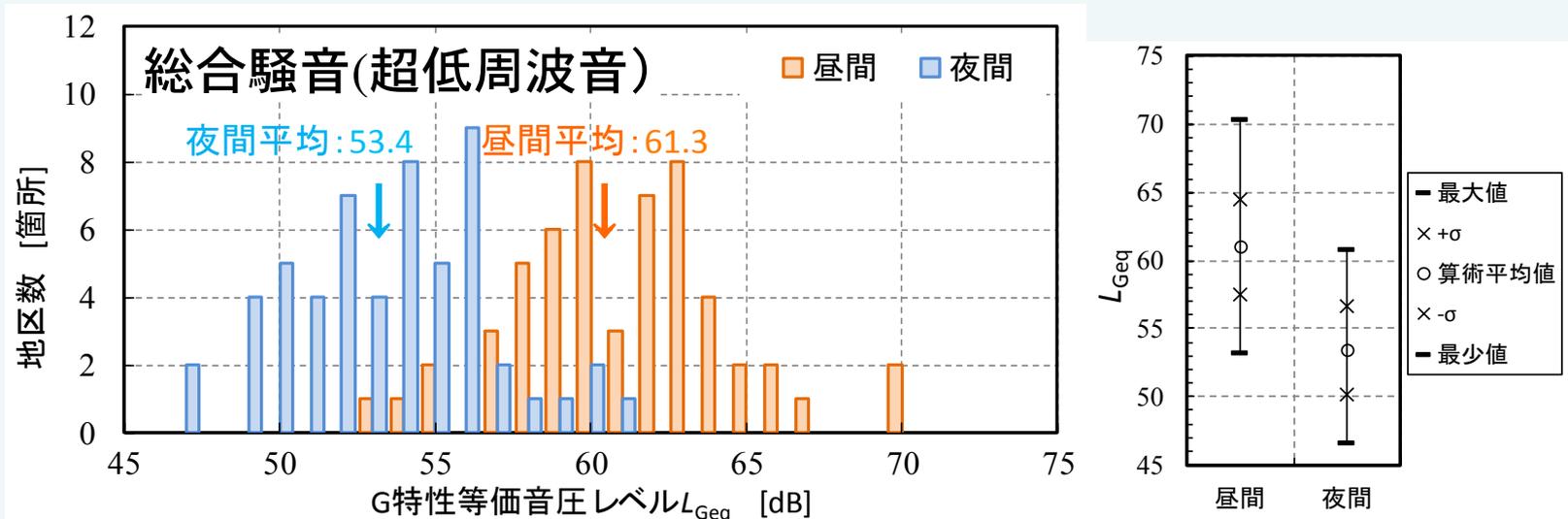
# 長島町における総合騒音、残留騒音および超低周波音の実測調査

- 1) 長島町の騒音環境の評価
  - ① 総合騒音／残留騒音／風車騒音(超低周波音)
  - ② 四季変動
- 2) 実測値からの距離減衰曲線の推定
  - ① 先行研究との比較
- 3) ケース・コントロール調査に関連して
  - ① 夜間睡眠時の居住宅の屋内外における超低周波音・騒音レベル調査
  - ② 超低周波音が睡眠障害要因かどうかの検討
  - ③ 時計型睡眠測定センサー(アクチグラフ)による睡眠評価

# 長島町の騒音レベル(A特性音圧レベル)の四季平均値(n=55)

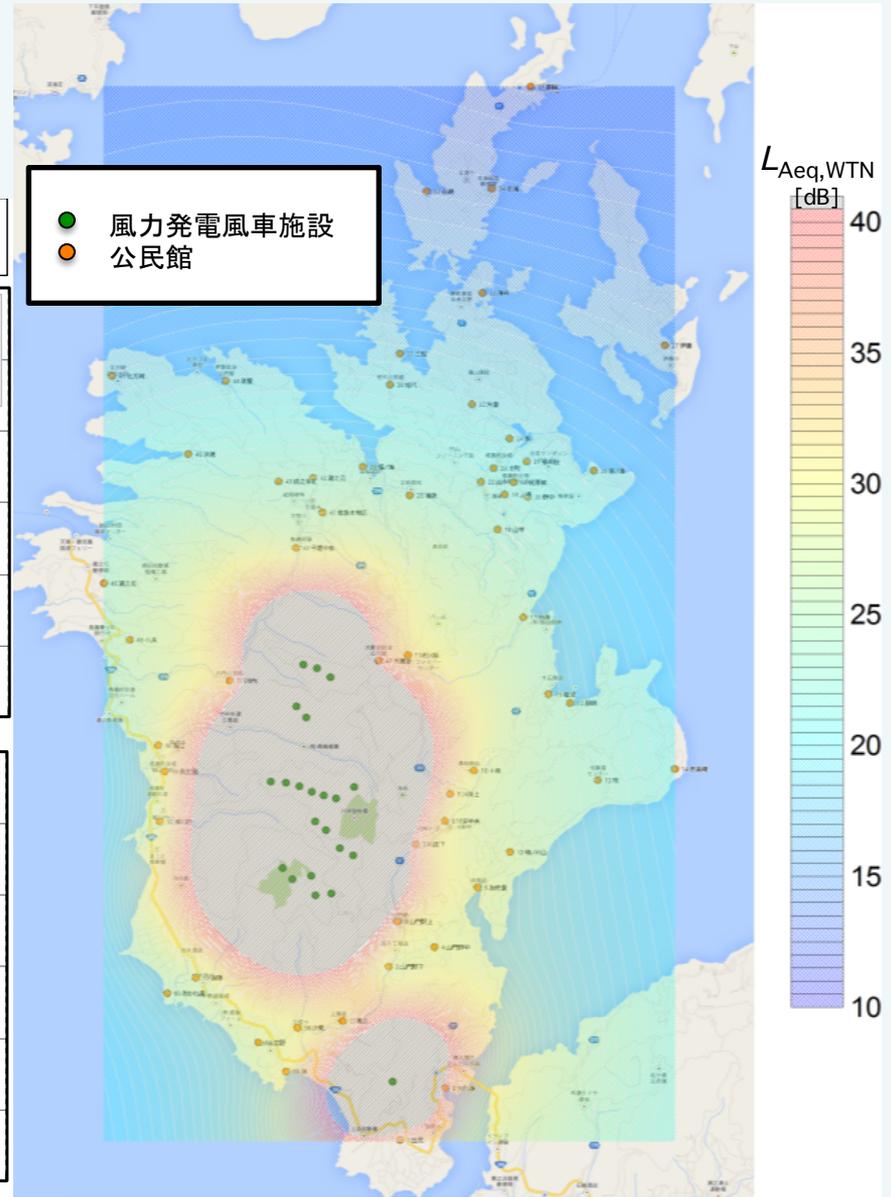
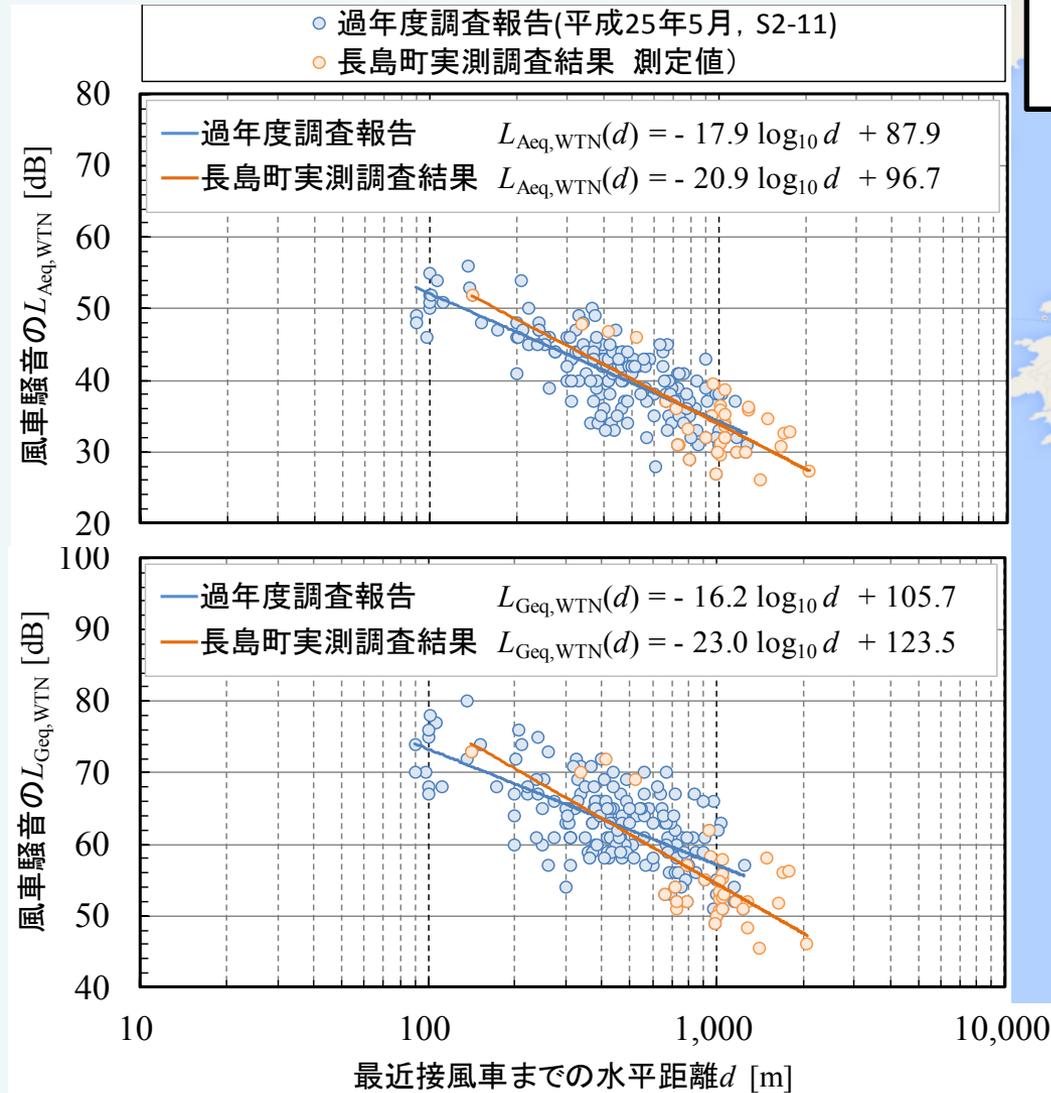


# 長島町の超低周波音レベル(G特性音圧レベル)の四季平均値 (n=55)



総合騒音、残留騒音、超低周波音の実測結果から：  
長島町は典型的な静穏地区

# 風車騒音 距離の対数に 比例して減衰



風車騒音レベルの推計結果

# ケース・コントロール研究

- 【目的】**風力発電施設における超低周波音 (<20Hz) の高低が睡眠に影響を及ぼしているかどうかを明確にする。
- 【対象】**アンケート調査時に「自宅から風力発電施設の音が聞こえない」と回答した住民を抽出し、最近接風車からの距離が1,500m近傍(範囲1,267m~1,771m)にあるK公民館区の住民(n=28名)へ症例対照研究への参加を呼びかけ、了解が得られた25名を対象とした。
- 【方法】**①屋内外の超低周波音・騒音レベル測定結果と関連性を検討
- ②時計型睡眠測定センサー(アクチグラフ)による睡眠評価

## 最近接風車から約1,000 m離れた地区の屋内外の超低周波音レベルおよび騒音レベル

- G特性等価音圧レベル $L_{Geq,n}$ は、屋内で44～55 dB、屋外で48～59 dBであった。屋内外音圧レベル差は最大で7 dB程度：超低周波音領域で窓および壁の遮音効果は小さい。
- 等価騒音レベル $L_{Aeq,n}$ は、屋内で16～32 dB、屋外で30～51 dBであった。屋内外音圧レベル差は4～24 dBで、ばらつきあり

# 超低周波音・騒音レベルの高低(各数値前後)で2群(曝露群・非曝露群)に分け、睡眠障害ありのオッズ比を求め、オッズ比が有意に大きくなるカットオフ値の検討

屋内の超低周波音レベル(L<sub>Geq</sub>)で段階的に2群に分けた場合の睡眠障害のオッズ比

屋外の超低周波音レベル(L<sub>Geq</sub>)で段階的に2群に分けた場合の睡眠障害のオッズ比

屋内	境界レベル (dB)	睡眠障害(人)		オッズ比	95%信頼区間
		あり	なし		
L <sub>Geq</sub>	>44	10	10	0	
	≤44	3	0		
44	>45	9	7	0.96	0.16, 30.8
	≤45	4	3		
～	>47	6	6	0.57	0.14, 42.9
	≤47	7	4		
55	>49	3	6	0.20	0.08, 232
	≤49	10	4		

屋外	境界レベル (dB)	睡眠障害(人)		オッズ比	95%信頼区間
		あり	なし		
L <sub>Geq</sub>	>49	6	8	0.21	0.07, 252
	≤49	7	2		
48	>51	5	6	0.42	0.13, 63.3
	≤51	8	4		
～	>54	3	1	2.70	0.13, 6.52
	≤54	10	9		
59	>58	1	1	0.75	0.04, 22.6
	≤58	12	9		

睡眠障害あり群(13人)となし群(10人)間に、性、年齢、超低周波音レベル、騒音レベルに有意差はなかった。

# アクチグラフ

## 睡眠障害

	症例(あり)	対照(なし)	有意差
	N=13	N=10	
性別	男性8:女性5	男性5:女性5	
平均年齢(歳)	60.8	51.5	p > 0.05
最近接風車との距離(m)	1,483	1,615	p > 0.05
日中活動レベル	190.1	182.8	p > 0.10
仮眠回数	2.76	5.26	p > 0.05
睡眠効率(%)	90.4	94.8	p < 0.05
最長睡眠ブロック(分)	10.2	7.36	p > 0.05
中途覚醒(回)	2.49	1.16	p > 0.05
最長覚醒ブロック(分)	14.73	7.08	p < 0.05
睡眠潜時(分)	2.16	1.35	p > 0.05
Activity Index (%)	30.7	24.8	p > 0.05
Sleep Fragmentation Index (%)	3.21	2.32	p > 0.05
総睡眠時間(分)	400.1	371.1	p > 0.10
中途覚醒時間(分)	46	20.5	p < 0.01
Brief Wake Ratio (%)	0.57	0.62	p > 0.05
Short Burst in activity index (%)	29.7	27.6	p > 0.10
勤務時間帯の照度(Lux)	72.7	104.9	p > 0.10
睡眠環境照度(Lux)	17.3	2.57	p > 0.10
風車稼動中の睡眠時間(分)	321.4	278.3	p > 0.10
風車稼動中のActivity Index(%)	31.9	26.8	p > 0.10