

平成 18 年度

修士論文

波音導入による海浜地域における音環境整備の
サウンドスケープ的アプローチに関する基礎的研究

指導教員 寺島貴根 助教授

三重大学大学院工学研究科

建築学専攻

杉山 洋明



目次

第1章 研究の枠組み

- 1-1 研究の背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
- 1-2 既往研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
- 1-3 研究の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
- 1-4 研究の構成・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4

第2章 波音の伝搬性状に関する測定調査

- 2-1 特定経路上における波音の伝搬性状測定・・・・・・・・・・・・・6
 - 2-1-1 測定の目的
 - 2-1-2 測定の概要
 - 2-1-3 ポータブル MP3 レコーダによる録音測定の妥当性についての検討
 - 2-1-4 測定の結果
- 2-2 地表面性状の異なる経路上における比較測定・・・・・・・・・・・・・16
 - 2-2-1 測定の目的
 - 2-2-2 測定の概要
 - 2-2-3 測定の結果
- 2-3 小括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・22

第3章 波音の到達距離に関する分析

- 3-1 本章の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・24
- 3-2 音圧変動についての相関分析を用いた波音の到達距離に関する分析方法・・・・・・・・・・・・・24
 - 3-2-1 分析の概要
 - 3-2-2 季節・時間帯別の各地点の相関係数の変動
 - 3-2-3 波音到達距離の算出結果と聴取記述との比較による考察
- 3-3 周波数分布による判別を用いた波音の到達距離に関する分析方法・・・・・・・・・・・・・36
 - 3-3-1 分析の概要と結果
 - 3-3-2 波音到達距離の算出結果と聴取記述との比較による考察
 - 3-3-3 ゆらぎ特性からみた音環境性状
- 3-4 小括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43

第4章 気象条件と波音の到達距離との関連性

4-1	本章の目的	45
4-2	測定結果と気象条件との関連	45
4-2-1	分析の概要	
4-2-2	風速と波音の到達距離との関連	
4-2-3	鉛直気温勾配と波音の到達距離との関連	
4-2-4	波打ち際音圧レベルと波音の到達距離との関連	
4-3	重回帰分析を用いた分析	52
4-3-1	分析の概要	
4-3-2	分析の結果	
4-4	小括	54

第5章 計算による波音の伝搬予測

5-1	伝搬予測の目的	56
5-2	音線法による波音の伝搬予測について	56
5-2-1	計算の概要	
5-2-2	音線計算プログラムの概要	
5-3	距離減衰による波音の予想到達距離の計算概要	62
5-4	実測結果との比較	63
5-5	小括	73

第6章 音環境に配慮したキャンパス内の音環境計画に関する考察

6-1	既往アンケート結果	75
6-2	小括	77

第7章 まとめ

7-1	研究のまとめ	79
7-2	研究の総括	81

参考文献	82
------	----

謝辞	83
----	----

付録

第1章 研究の枠組み

1-1 研究の背景

私たちの生活の中には、木々のざわめきや鳥の鳴き声、波の音などの自然音や人の声、楽器の音などの人の活動音、空調室外機や電子機器から発する機械音、自動車や航空機などから発する交通音など、様々な音が溢れている。その中には人間にとって心地よい快適な感覚を与えるものや、逆に不快で気分を害するような音もある。しかし私たちはそれらの音を日常生活の中でどれほど意識しているだろうか。近年のオーディオ技術の目覚ましい進歩により、人々はプライベートな空間における音環境を重要視し、その中で様々な音楽を楽しむようになった。一方で他者との共用空間、特に屋外での音環境に対する人々の関心は高まっているとは言えなかった。

しかしながら、次第に人々の志向が物理的な豊かさから精神的な豊かさを求めるようになるにつれ、資源の枯渇や温暖化など地球規模の問題から、景観の悪化や騒音、振動、悪臭など地域規模での問題まで、様々な環境問題が取り上げられるようになった。音環境に対する関心が急速に高まっているわけではないが、これらの社会的要請に応える形で従来からの効率性を重視した環境整備から、使いやすさや美しさなど、人間の感覚的要素に配慮した環境整備が必要とされてきている。

音環境の整備については、サウンドスケープ(soundscape)の観点から語られることが多くなっている。この言葉はカナダの作曲家マリー・シェーファー(R.Murray Schafer)によって提唱されたものであり、「風景」(landscape)に対応した「音の風景」を意味する造語である。音の問題を取り扱う場合において、従来は騒音測定などを通じて音の物理量を測定し、その結果を用いた客観的な評価が必要とされてきた。サウンドスケープの考え方では物理量だけでなく、私たちを取り巻く環境内にて発生している自然音、活動音、機械音、交通音など多種多様な音源の種類やそれらの音が環境内にて聞かれるようになった背景、社会での受け止められ方など、歴史的、地理学的、気候学的な観点をも含む様々な要因に配慮した音環境への取り組みを必要とする。つまりサウンドスケープとは人々によって意味づけられ、価値付けられた音環境を意味するものであり、音に対する思い入れや愛着、記憶など人々の心象風景とも結びついた心理的、精神的な側面を含む社会的、文化的な存在の一部として音を捉えることである。

現在日本においては 1993 年にサウンドスケープ協会が発足し、横浜ではサウンドスケープを考慮した港湾環境の整備計画が示されるなど、地域計画の中にサウンドスケープの観点を取り込むような取り組みが行われ始めている。しかしこのような観点からの取り組みはまだ始まったばかりである。

日本は海に囲まれた国土を持ち、多くの都市が海に面している。波音をサウンドマークとした音環境整備手法は多くの都市の音環境整備に適用できる可能性がある。我が三重大学は海岸に隣接し緑豊かな自然環境に恵まれているが、一方で周辺の自動車交通や航空機さらには学内に設置された空調室外機など騒音源が多く、快適な音環境にあると言い難い。さらに現在の海岸道路を拡張する計画などもあり、国道 23 号線からの交通騒音を加えるとキャンパス周辺の音環境の更なる悪化が懸念される。しかしこれら騒音源を取り除くには限界があるため、私たちを取り巻く音環境の中でも自然音、特に波音に着目し、波音を効果的に用いたサウンドスケープ的アプローチによる音環境整備手法が必要とされると考えている。本研究は三重大学キャンパスをケーススタディとして、海浜地域の地域性を生かした街の環境整備や活性化に貢献する資料を提示することを目的としている。

1-2 既往研究

海浜地域のサウンドスケープについては村上ら[1][2]や亀山ら[3]が海岸近傍に住まう人々に対するアンケート調査や現地調査を行い、社会、自然環境、土地利用、文化の違いによってサウンドスケープの地域性が生じること、海浜地域の住民と周辺地域からの来訪者とでは波の音について来訪者側の方がより高い評価を与えること、波の音の可聴範囲の分布は海岸側に偏っているわけではなく、居住年数の長い住民ほど良く聞こえていることから「音が聞こえる」ということには音量など物理的な要素だけではなく、個人の音に対する経験、意味づけなどの影響が大きいこと、海浜地域のサウンドスケープを形成する適切な音を「快適性が高く」かつ「海らしい」音とすると波の音、船の音が挙げられ、海らしさに欠けるが快適性が高い音には自然や生き物を音源とする音、祭りの音、神社の鈴の音などが挙げられ、これらのことから地域性豊かな好ましいサウンドスケープを形成させるためにはある音を地域内に鳴らすことに重点を置くのではなく、その音源となる環境や文化活動も保全する必要があり、つまり適切なサウンドスケープを形成することは環境と共生した地域をつくることであると結論付けている。

三重大学工学部建築学科寺島研究室では、1997年から三重大学キャンパス内の音環境に関する研究を行っており、キャンパス内の騒音レベルの分布や時間変動、音源の割合や分布、学生に対する意識調査や波の音の伝搬調査などを行ってきた[4][5]。その結果キャンパス内のそれぞれの地点における音環境の分布や時間変動を広範囲に渡って把握することが出来た。また三重大学キャンパス内の音環境の現状を把握した結果から幹線道路及び海岸近傍地域の音環境の在り方について、幹線道路側においては国道23号線の交通騒音が大きく減衰する約200m離れた位置に建物を配置すること、空調室外機等の定常的な機械音を発生させるものは屋上などの高いところに配置し、同時に低い部分には植生を多く分布させて自然音によってマスクさせること等の提案を行っている。

さらに、波の音の伝搬調査から波の音を聞きやすい条件は海岸付近での暗騒音レベルが低いことであり、海岸に近い部分に騒音源となる道路や建物は少ないほうが好ましく、一方海岸付近の植生は波の音をマスクする可能性もあるが防風等の効果もあるため、波の音が聞こえるポイントの整備など適切な配置が好ましいとの提言も行ってきた。

しかし波の音の伝搬に関しては気象条件、海岸や堤防の形状、温度分布などとの音の伝搬の関係について不明確な部分が多く、より詳細な研究が必要になるとしていた。

1-3 研究の目的

この研究は既往研究の成果を踏まえて、海と緑豊かな自然環境に囲まれ恵まれたキャンパスを持つ一方で、周辺の自動車交通や航空機さらには学内に設置された空調室外機など騒音源が多く、快適な音環境にあるとは言い難い状況にある三重大学キャンパス内の音環境を、自然の音などを効果的に用いたサウンドスケープ的アプローチによる音環境整備手法によって改善を図ることを目的としている。そこで既往のアンケート結果を踏まえた上で海岸に対し非常に近い位置にある三重大学キャンパスの地理的特性を生かせないかと考え、自然の音の中でも特に波音に着目し、波音導入によるサウンドスケープ形成の可能性について検討を行うためのデータを収集することを目的としている。

1-4 研究の構成

本研究は全6章で構成される。

第1章において、本研究の枠組みを示す。

第2章において、町屋海岸から三重大学キャンパスへの波音の伝搬性状に関する測定調査と分析結果を示す。

第3章において、波音の到達距離に関する分析方法についての検討及び分析結果を示す。

第4章において、気象条件と波音の到達距離との関連性についての検討及び分析結果を示す。

第5章において、音線法を用いた計算による波音の伝搬予測の結果と実測結果との比較について示す。

第6章において、キャンパス内への波音の導入を主とした音環境に配慮したキャンパス内の施設配置に関する考察について示す。

第7章において、第2章から第5章で得られた結果を元に現状におけるキャンパス内への波音の伝搬状況の把握や問題点を整理する。

第 2 章 波音の伝搬性状に関する測定調査

2-1 特定経路上における波音の伝搬性状測定

2-1-1 測定の目的

三重大学キャンパスをケーススタディとして波音導入によるサウンドスケープ形成の可能性について検討を行うためには実際に録音測定を実施し、波打ち際からの距離による等価騒音レベル、音圧レベルの度数分布、周波数分布の変動などの波音の伝搬状況を把握・分析を行えるだけのデータを収集する必要がある。

そのために海岸になっている三重大学東側約 100m の地点から聞こえてくる波の音がキャンパス内への程度到達しているかを把握し、気象やその他の条件とどの程度関連を持つか調査するため年間を通じた測定を行い、キャンパス内音環境の季節変動や時間帯による一日における変動、気象条件ごとの変動を把握することを目的としている。

2-1-2 測定の概要

図 2-1 に示すように海岸から三重大学キャンパスに向かう東西方向の或る経路(経路 A)において、2 台のポータブル MP3 レコーダを用い、1 台は波打ち際で固定し、もう 1 台は波打ち際から内陸側へ移動しながら連続的に波音の録音を行った。地点間の水平距離と標高を示す経路の断面図を図 2-2 に、測定日時とその時の気象条件を表 2-1 に示す。なお、2006 年春期の測定から測定地点を増やしたため、図には新しい測定地点を示してある。各測定地点の写真を付録に示す。なお、表 2-1 における風向は北を 0 として 360 度で表してある。また 2006 年 4 月における上下温度勾配は機器不調のため欠測となっている。



図 2-1 測定経路図

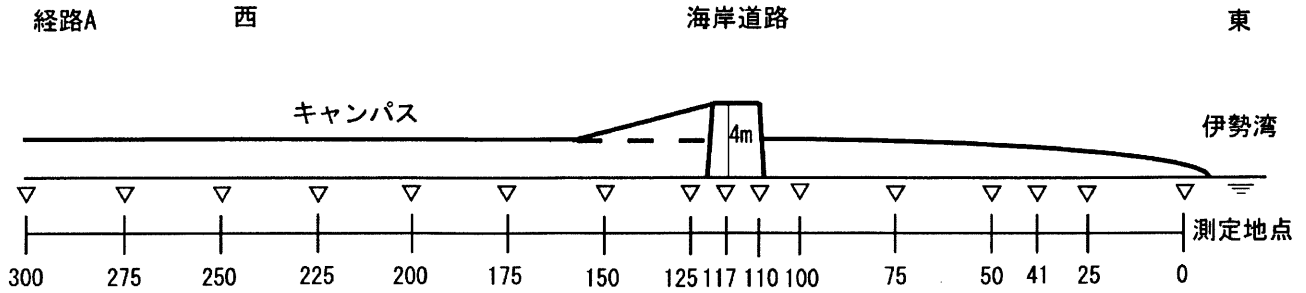


図 2-2 経路断面図

表 2-1 測定日時と気象条件

測定日時	気温(℃)	風向	風速(m/s)	上下温度勾配(℃/m)	波打ち際音圧レベル(dB)	測定日時	気温(℃)	風向	風速(m/s)	上下温度勾配(℃/m)	波打ち際音圧レベル(dB)
2005/10/26 15:00~15:30	20.0	91	0.8	0.07	66.1	2006/4/30 9:30~10:00	15.9	115	2.2		63.9
2005/10/27 16:00~16:30	21.6	308	3.1	-0.01	58.9	2006/4/30 13:30~14:00	18.6	135	3.2		57.5
2005/10/28 9:30~10:00	15.7	109	1.5	0.06	58.9	2006/4/30 17:30~18:00	17.8	33	2.9		66.2
2005/10/28 13:30~14:00	18.8	110	1.3	0.06	61.9	2006/4/30 21:30~22:00	16.5	216	1.0		61.5
2005/10/28 17:30~18:00	19.6	141	0.9	0.05	65.6	2006/5/3 10:00~10:30	15.4	326	2.4		59.8
2005/10/28 21:30~22:00	17.3	265	1.0	0.03	61.9	2006/5/3 13:30~14:00	17.6	137	4.9		68.6
2005/11/4 10:00~10:30	16.4	95	0.9	0.02	63.1	2006/5/3 17:30~18:00	17.4	154	6.5		69.6
2005/11/4 13:30~14:00	22.6	289	4.9	-0.01	60.8	2006/5/3 21:30~22:00	14.9	167	2.2		66.6
2005/11/4 17:30~18:00	20.2	278	1.8	0.00	59.3	2006/7/27 9:30~10:00	32	291	3.9	-0.07	62.4
2005/11/4 21:30~22:00	15.7	246	0.6	0.02	54.3	2006/7/27 13:30~14:00	34.9	165	1.8	-0.08	58.5
2005/11/5 10:00~10:30	16.6	93	1.5	0.04	64.2	2006/7/27 17:30~18:00	33.5	313	4.0	0.02	65.1
2005/11/5 13:30~14:00	19.7	148	2.4	0.05	58.2	2006/7/27 21:30~22:00	29.1	288	2.5	0.03	62.6
2005/11/5 17:30~18:00	20.4	260	0.8	0.05	61.7	2006/7/28 9:30~10:00	28.8	87	3.3	0.09	66.4
2005/11/5 21:30~22:00	15.8	289	0.7	0.02	60.1	2006/7/28 13:30~14:00	32.6	115	4.9	0.08	62.2
2006/1/24 9:30~10:00	5.1	281	6.7	-0.04	50.6	2006/7/28 17:30~18:00	32.4	332	3.2	0.02	66.2
2006/1/24 13:30~14:00	5.3	311	5.9	-0.05	53.0	2006/7/28 21:30~22:00	28.8	300	2.7	-0.01	61.5
2006/1/24 17:30~18:00	3.8	310	3.7	-0.02	53.8	2006/8/2 9:30~10:00	25.3	149	3.4	-0.02	62.3
2006/1/24 21:30~22:00	2.6	300	2.2	-0.03	58.9	2006/8/2 13:30~14:00	27.7	123	6.3	0.02	69.3
2006/1/25 9:30~10:00	3.6	276	3.3	-0.05	51.2	2006/8/2 17:30~18:00	26.7	132	3.4	0.03	71.9
2006/1/25 13:30~14:00	6.4	317	4.2	-0.04	50.2	2006/8/2 21:30~22:00	25	107	1.2	0.00	67.6
2006/1/25 17:30~18:00	5.1	304	3.9	-0.02	56.8	2006/8/3 9:30~10:00	25.8	124	2.5	-0.06	64.2
2006/1/25 21:30~22:00	3.1	303	4.5	-0.04	53.8	2006/8/3 13:30~14:00	29.3	127	3.3	-0.01	63.6
2006/1/26 9:30~10:00	4.7	294	5.1	-0.07	52.0	2006/8/3 17:30~18:00	29.8	130	4.0	0.03	68.8
2006/1/26 13:30~14:00	6.2	314	4.7	-0.06	58.5	2006/8/3 22:30~23:00	26.4	148	2.2	0.00	70.9
2006/1/26 17:30~18:00	6.1	298	1.9	-0.01	58.7	2006/10/26 9:30~10:00	19.5	302	3.1	-0.03	62.9
2006/1/26 21:30~22:00	4.0	313	1.5	-0.04	49.8	2006/10/26 13:30~14:00	22.8	303	5.1	-0.06	66.0
2006/1/27 9:30~10:00	4.8	88	1.6	-0.02	54.5	2006/10/26 17:30~18:00	20.3	295	3.0	-0.02	58.4
2006/1/27 13:30~14:00	9.2	307	4.6	-0.04	57.7	2006/10/26 21:30~22:00	17.3	256	1.3	0.01	61.4
2006/1/27 18:00~18:30	7.1	286	3.6	-0.03	58.9	2006/10/31 9:30~10:00	18.7	120	0.9	0.03	67.4
2006/1/27 23:00~23:30	5.6	295	5.1	-0.02	53.8	2006/10/31 13:30~14:00	20.8	127	1.9	0.04	64.5
2006/4/18 17:30~18:00	16.9	193	0.6		63.5	2006/10/31 17:30~18:00	21	291	0.8	-0.01	64.2
2006/4/18 21:30~22:00	16	305	1.4		64.2	2006/10/31 21:30~22:00	17.4	297	3.3	0.00	62.0
2006/4/26 9:30~10:00	13	68	3.9		63.6	2006/11/2 9:30~10:00	17.7	96	0.6	0.03	66.4
2006/4/26 13:30~14:00	13.9	98	1.6		63.5	2006/11/2 13:30~14:00	19.8	135	1.1	0.03	65.5
2006/4/26 17:30~18:00	13.8	180	0.8		63.1	2006/11/2 17:30~18:00	19.3	315	1.4	-0.05	65.9
2006/4/26 21:30~22:00	13.6	277	0.5		63.7	2006/11/2 21:30~22:00	15.3	269	1.2	-0.01	64.2

※気温は津地方気象台、風向・風速は三重大学前田研究室、上下温度勾配は三重大学工学部建築棟1階と4階屋上(高度差約16m)での実測結果による。

2-1-3 ポータブル MP3 レコーダによる録音測定の妥当性についての検討

キャンパス内への波音の伝搬状況を把握するためには広範囲に渡って同時に測定を行う必要があるが、騒音測定器を複数用意することに対する価格的な問題やその大きさによる取り扱いの難しさから長期に渡って屋外に設置し測定を行うことには限界がある。そこで近年安価で入手することが出来る様になり、大容量化に伴い長時間の録音も可能な MP3 をキャンパス内各所に配置し、その録音データを分析することで測定の負担の軽減を図ることができると考えた。このような方法は深川らによって既に研究がなされている[6] [7]。

測定にはレコーディング機能と内蔵マイクを備えたポータブル MP3 プレイヤー (i-river 社 iFP-899、以下 MP3) を用い、ビットレート: 128kbps、サンプリングレート: 44.1kHz に設定した。本測定に先立ち、あらかじめ適当な変動音を MP3 で録音し、同時に騒音計 (小野測器 LA-2111) で音圧変動を記録した。その後 MP3 の録音データから音圧変動を読み出し、騒音計の指示値と比較した。図 2-3 は両測定の音圧変動を示し、図 2-4 は同時刻における正規化後の両測定値を座標とする点の分布を示している。両測定値の相関は極めて高く (相関係数は 0.96)、このことから MP3 を用いた測定方法は本研究に対して十分な精度を持つと判断した。

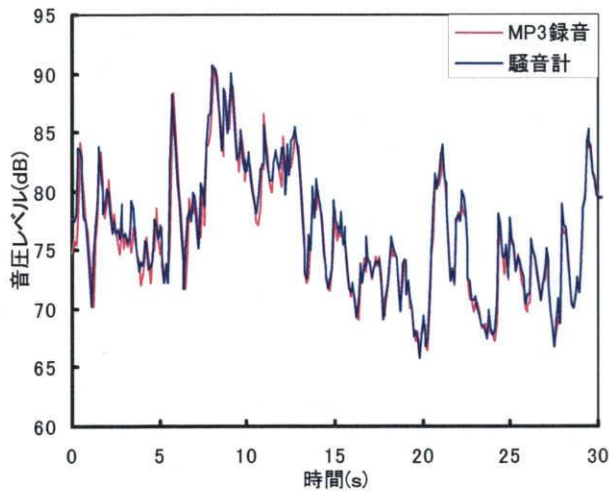


図 2-3 MP3 録音と騒音計の測定値比較

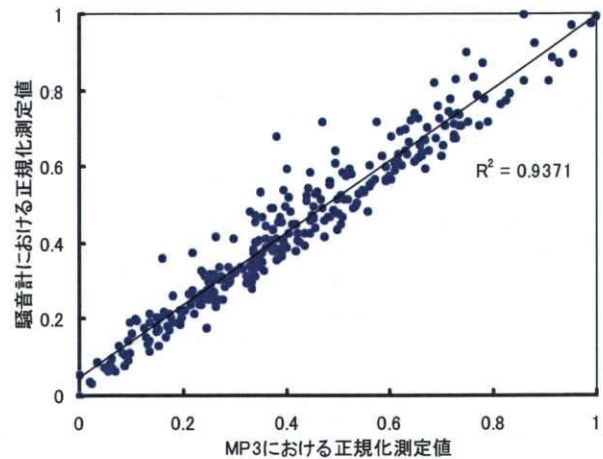


図 2-4 正規化後測定値分布

2-1-4 測定の結果

測定の結果を以下に示す。

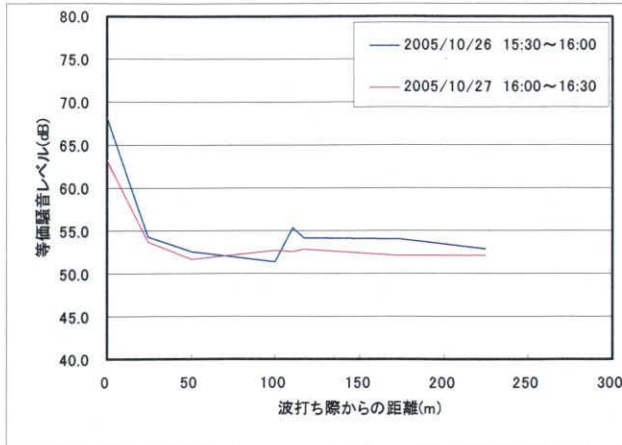


図 2-5 2005/10/26、2005/10/26 測定結果

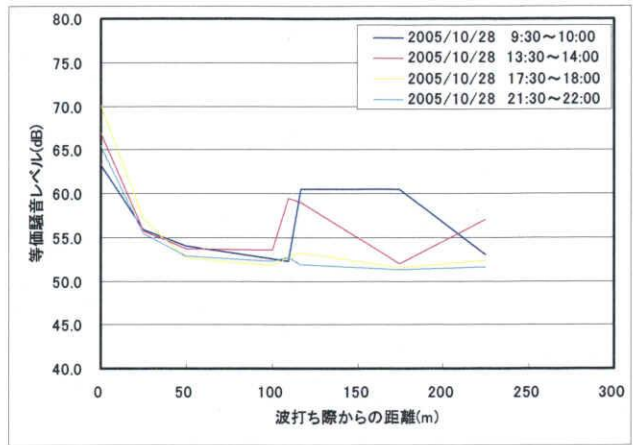


図 2-6 2005/10/28 測定結果

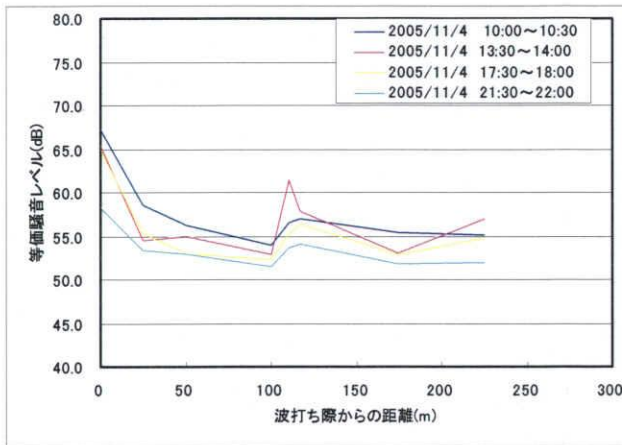


図 2-7 2005/11/4 測定結果

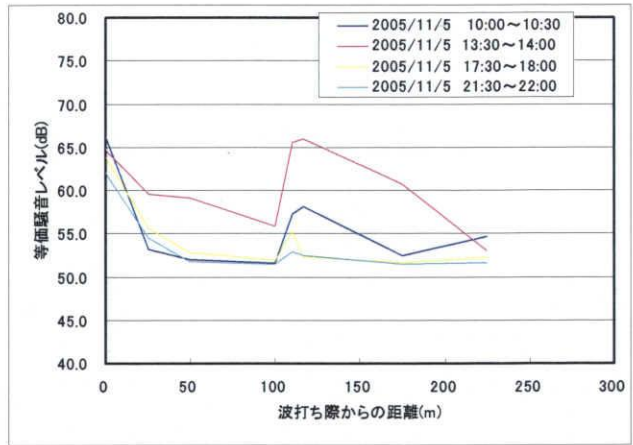


図 2-8 2005/11/5 測定結果

野球部がグラウンドで活動していた 10/28 9:30、13:30、11/4 13:30、11/5 10:00、13:30 において波打ち際から 100m~200m の地点で等価騒音レベルが高くなっている。グラウンドで活動が行われていない場合には、波打ち際から 100m~200m の地点において等価騒音レベルが高くなる傾向は見られない。

波打ち際での等価騒音レベルは 11/4 21:30 の測定では約 58dB となっているが、平均では約 65.0dB となっている。

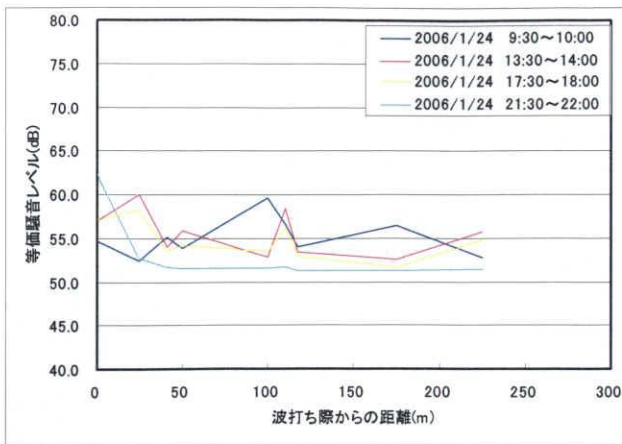


図 2-9 2006/1/24 測定結果

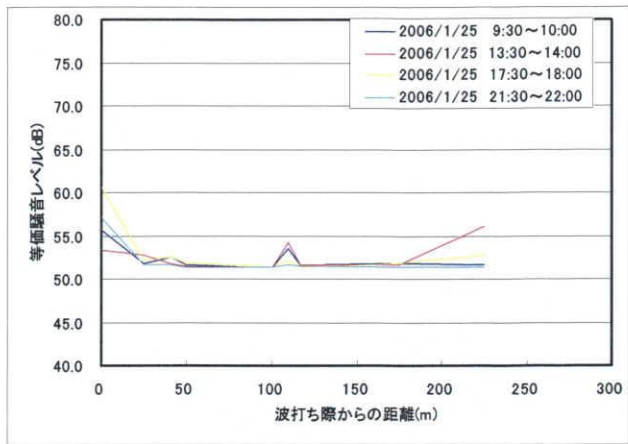


図 2-10 2006/1/25 測定結果

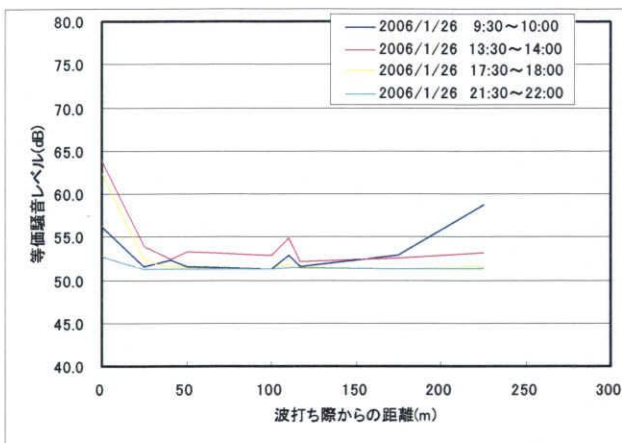


図 2-11 2006/1/26 測定結果

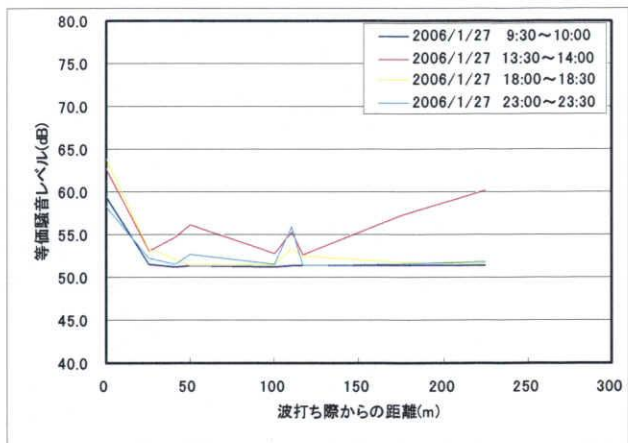


図 2-12 2006/1/27 測定結果

海岸道路上の測定地点である 110m 地点において等価騒音レベルがやや上昇する傾向が見られる。この地点は測定経路上で最も高い位置にあり、また冬期は放射冷却の影響で音がよく届く状況になり易いため国道 23 号線や鉄道からの交通音や近隣の工事の音の影響を受けたと考えられる。また、200m 以降の地点では 1/26 9:30 や 1/27 13:30 の測定において楽器の練習による音のために等価騒音レベルが高くなっている。

波打ち際での等価騒音レベルは約 53dB から約 65dB までとばらつきが大きく、平均では約 58dB となっている。

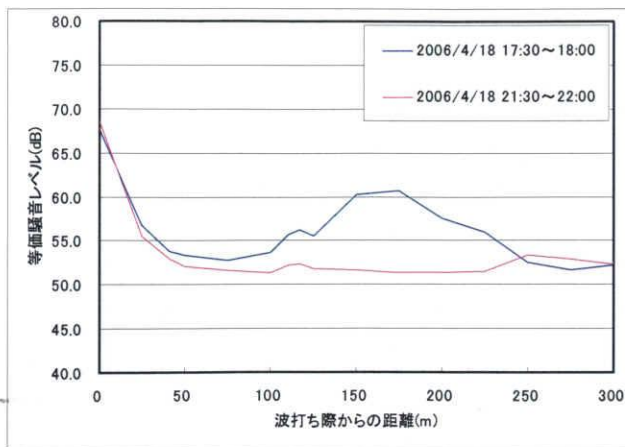


図 2-13 2006/4/18 測定結果

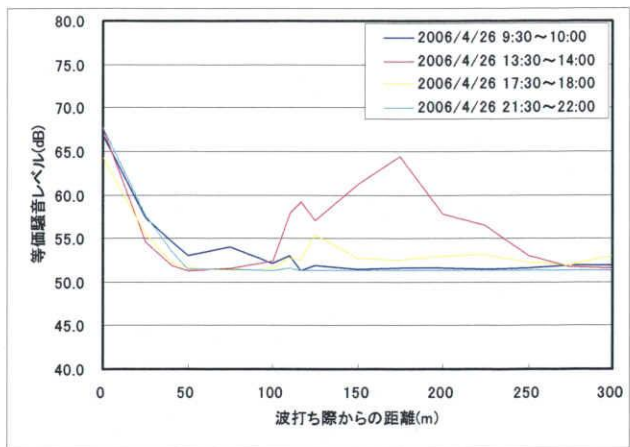


図 2-14 2006/4/26 測定結果

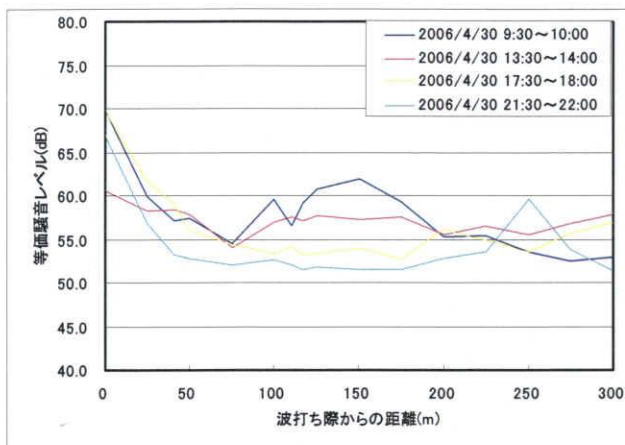


図 2-15 2006/4/30 測定結果

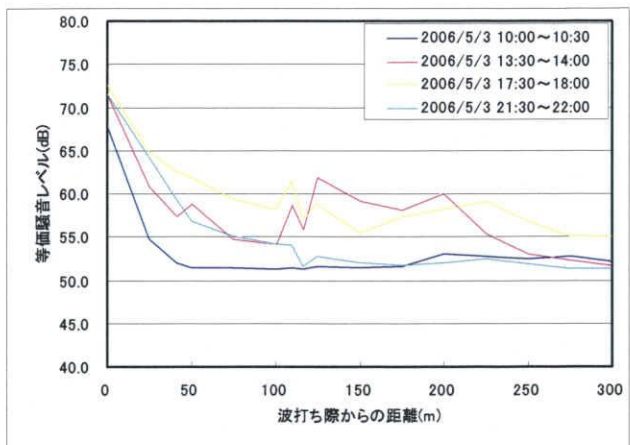


図 2-16 2006/5/3 測定結果

4/18 17:30、4/26 13:30、4/30 9:30、13:30、5/3 13:30、17:30 の測定においてグラウンドでの野球部の活動により等価騒音レベルが高くなっている。野球部の活動による等価騒音レベルへの影響は約 100m から約 250m 地点の間においてみられる。

波打ち際での等価騒音レベルは 4/30 13:30 では約 60dB となっているが、他の測定では 65dB 以上になっており、平均では約 68dB となっている。

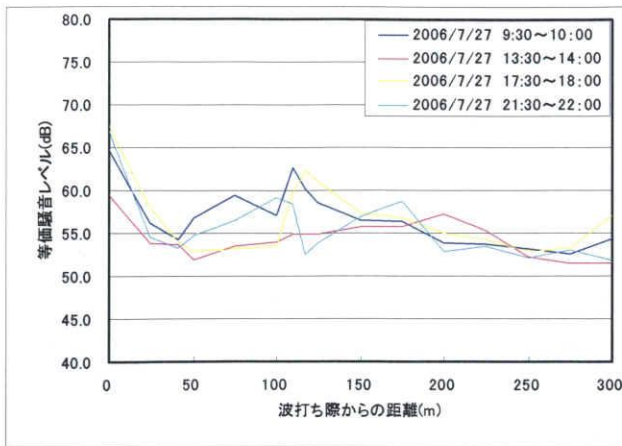


図 2-17 2006/7/27 測定結果

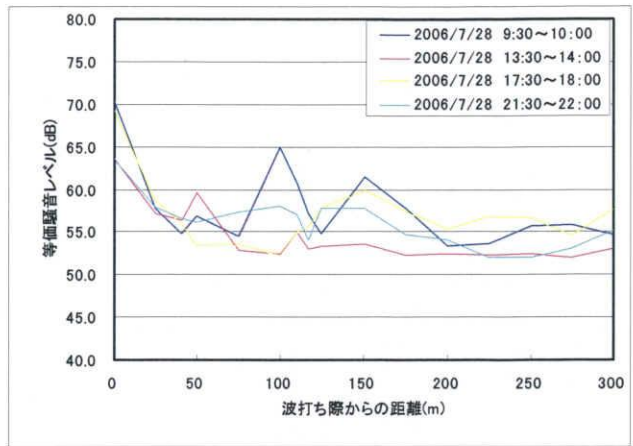


図 2-18 2006/7/28 測定結果

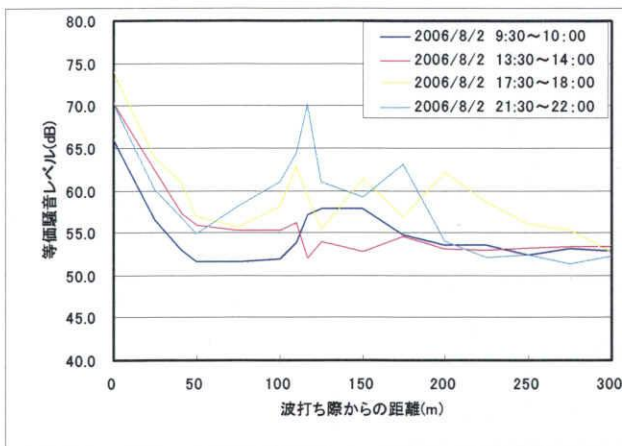


図 2-19 2006/8/2 測定結果

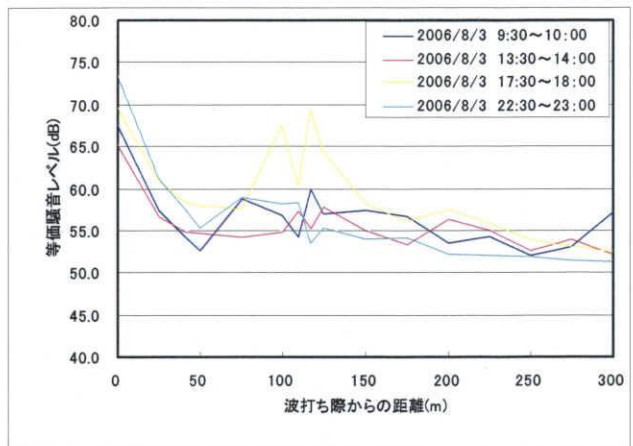


図 2-20 2006/8/3 測定結果

夏期の測定では虫の鳴き声などの影響を受け、測定地点間で等価騒音レベルが大きく変動する傾向が見られる。8/2 21:30 の 117m 地点では近くの茂みからの虫の鳴き声の影響を大きく受けている。

波打ち際での等価騒音レベルは約 60dB から約 75dB までとばらつきが見られる。平均では約 68dB となっている。

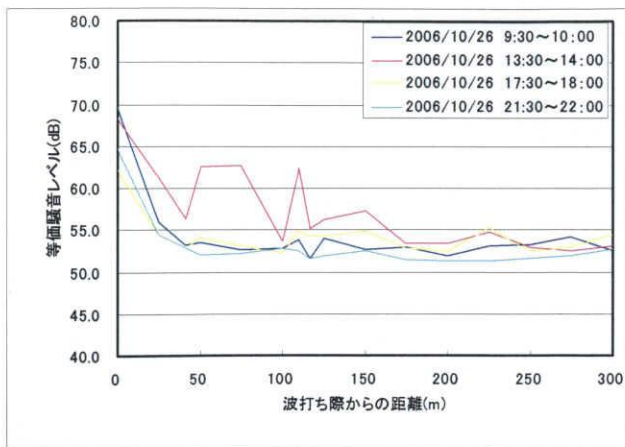


図 2-21 2006/10/26 測定結果

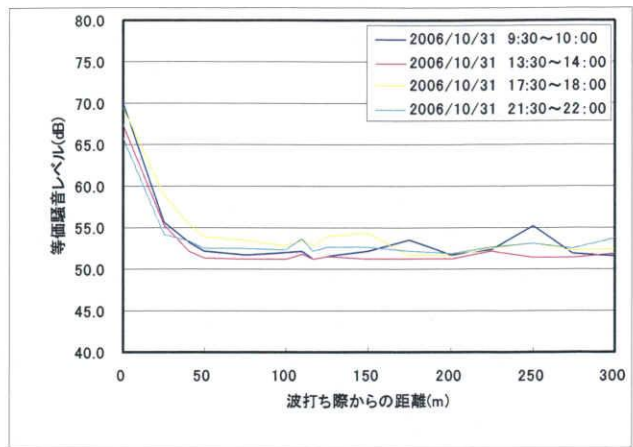


図 2-22 2006/10/31 測定結果

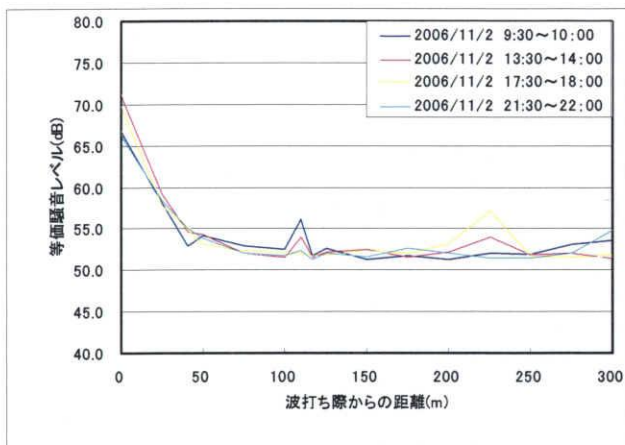


図 2-23 2006/11/2 測定結果

10/26 13:30 において風切り音のため等価騒音レベルが高くなっている地点がある。

110m地点において等価騒音レベルがやや上昇する傾向が見られる。

波打ち際での等価騒音レベルは約 62dB から約 71dB までとなっている。平均では約 68dB となっている。

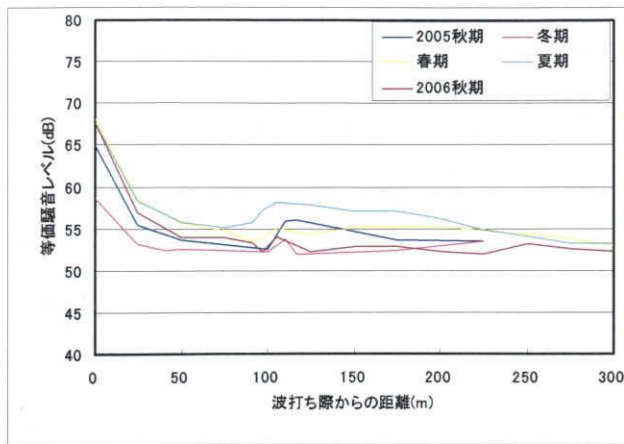


図 2-24 季節別等価騒音レベルの変動

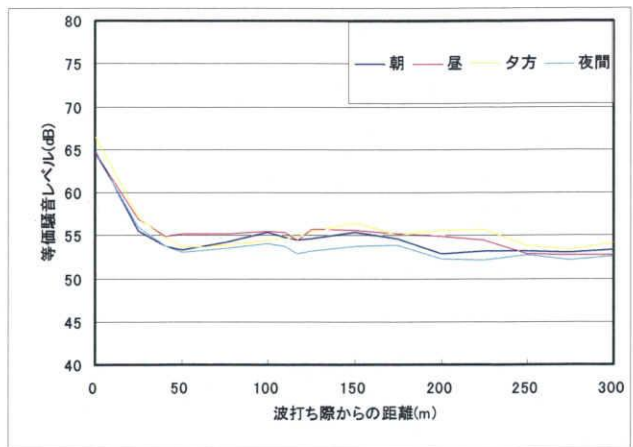


図 2-25 時間帯別等価騒音レベルの変動

季節変動をみると、冬期の波打ち際地点では他の季節と比較して約 10dB ほど等価騒音レベルが低くなっている。また全体的に冬期は等価騒音レベルが低い傾向にある。また、夏期は波打ち際から少し離れると虫の鳴き声のために等価騒音レベルが他の季節よりも高い傾向にある。また堤防に上がる 110m 地点において等価騒音レベルが高くなりその後緩やかに減衰する傾向も読み取れる。

時間変動をみると、夜間においてやや等価騒音レベルが低くなる傾向が見られる。しかしながら他の時間帯との差は大きくはなく、時間帯による等価騒音レベルへの影響は殆ど見られない。

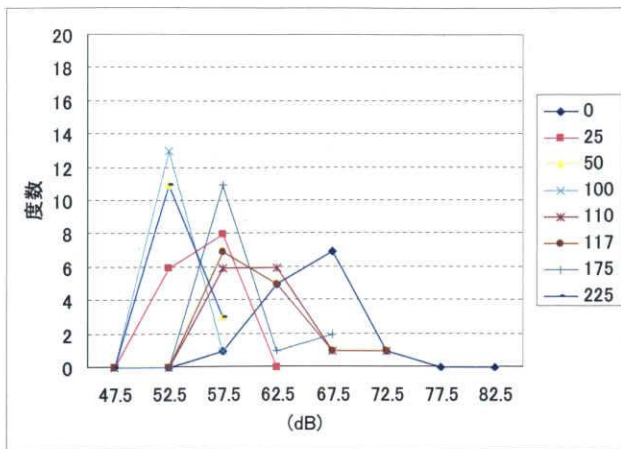


図 2-26 2005/10 度数分布

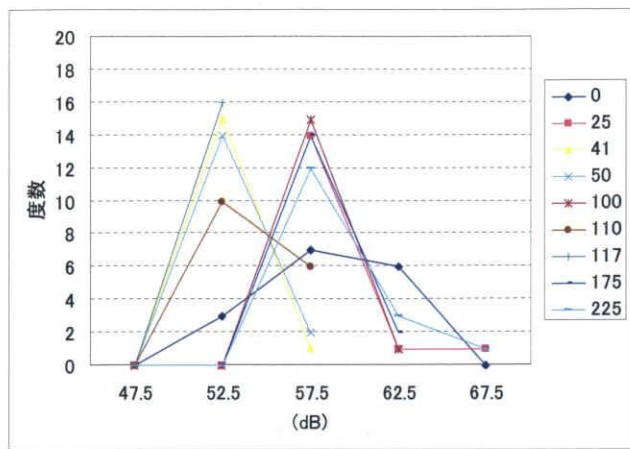


図 2-27 2006/1 度数分布

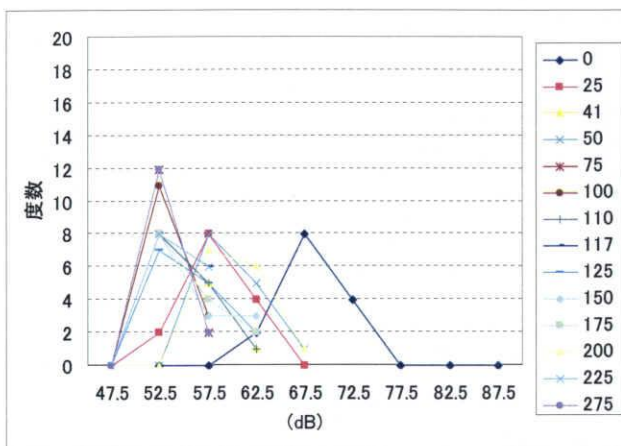


図 2-28 2006/4 度数分布

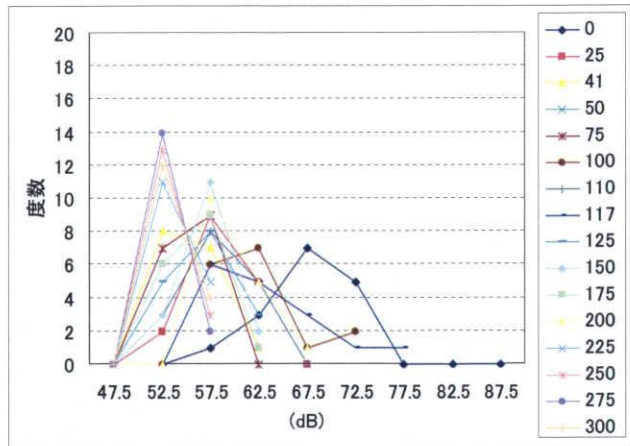


図 2-29 2006/7 度数分布

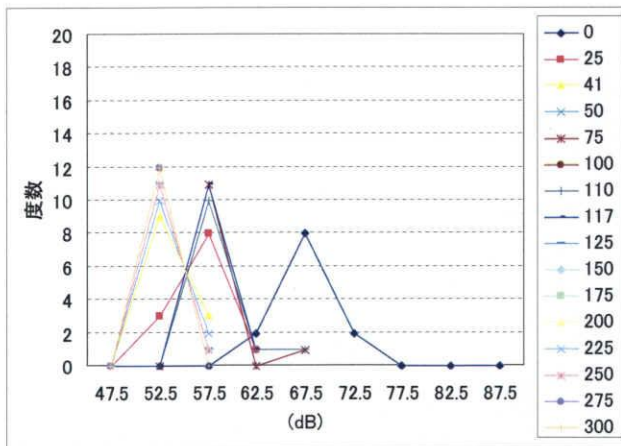


図 2-30 2006/10 度数分布

度数分布を見ると波打ち際においては等価騒音レベルは幅広く分布しているが、波打ち際から距離が離れるにつれて分布の幅が狭くなっていることが分かる。このことから波打ち際においては時間帯により等価騒音レベルの変動があり、変化に富んだ音環境であるのに対し、波打ち際から離れた地点では音環境の変化が少ないことが分かる。

2-2 地表面性状の異なる経路上における比較測定

2-2-1 測定の目的

キャンパス内への波音の伝搬状況をより広い範囲で調査するため、測定経路を3経路に増やして2-1と同様の測定を行った。

2-2-2 測定の概要

図2-31に示すような経路において2-1と同様の測定を行った。測定日時とその時の気象条件を表2-2、地点間の水平距離と標高を示す経路の断面図を図2-32に示す。また各経路における測定地点の写真を付録に示す。なお11/2は経路Aのみ測定を行っており、経路B 10/26 17:30の300m地点で、経路C 10/26 21:30の全地点で録音機器トラブルのため測定を行うことができなかった。



図 2-31 測定経路図

表 2-2 測定日時・気象条件

測定日時	気温(°C)	相対湿度(%)	風向	風速(m/s)
2006/10/26 9:30~10:00	19.5	59	西北西	6.2
2006/10/26 13:30~14:00	22.8	46	北西	6.5
2006/10/26 17:30~18:00	20.3	52	西北西	4.9
2006/10/26 21:30~22:00	17.3	65	西南西	3.4
2006/10/31 9:30~10:00	18.7	66	西南西	0.8
2006/10/31 13:30~14:00	20.8	59	東	3.7
2006/10/31 17:30~18:00	21	51	南西	1.2
2006/10/31 21:30~22:00	17.4	58	西	4.9
2006/11/2 9:30~10:00	17.7	67	東北東	0.3
2006/11/2 13:30~14:00	19.8	64	南東	1.7
2006/11/2 17:30~18:00	19.3	69	南	2.4
2006/11/2 21:30~22:00	15.3	83	西南西	1

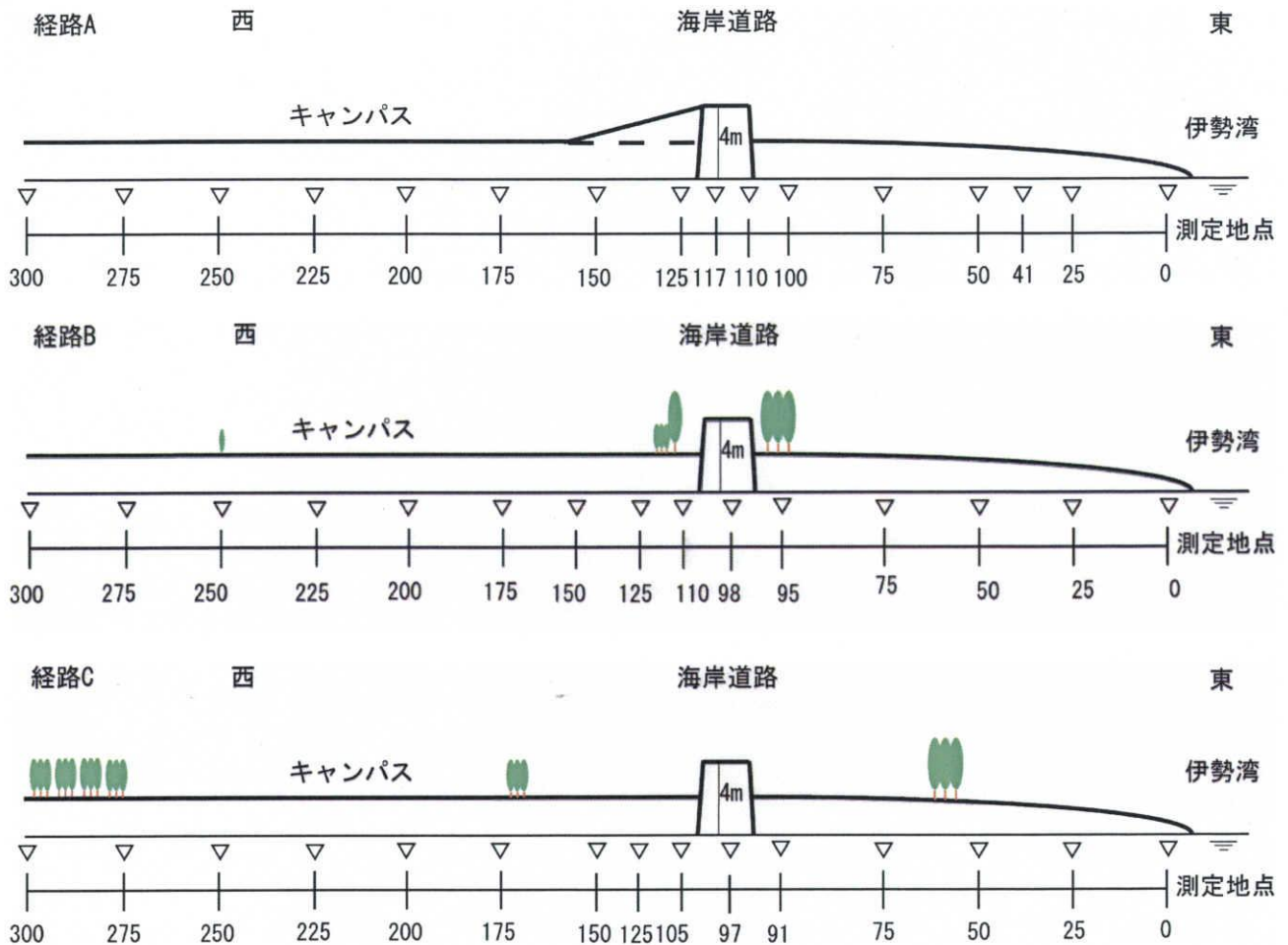


図 2-32 経路断面図

2-2-3 測定の結果

測定の結果を以下に示す。

<経路 A>

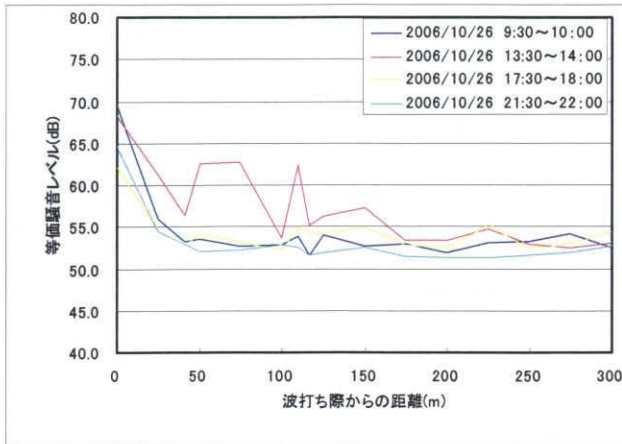


図 2-33 測定結果

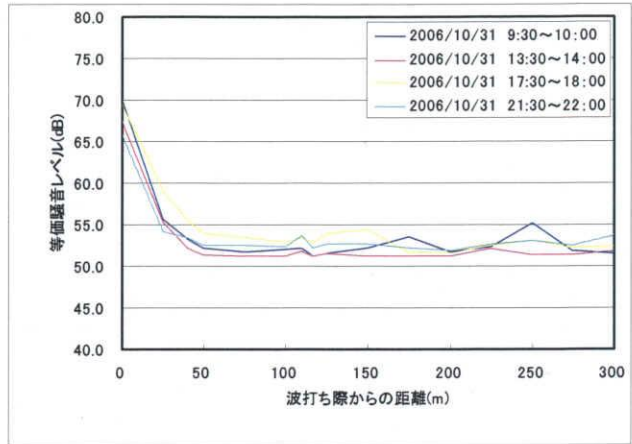


図 2-34 測定結果

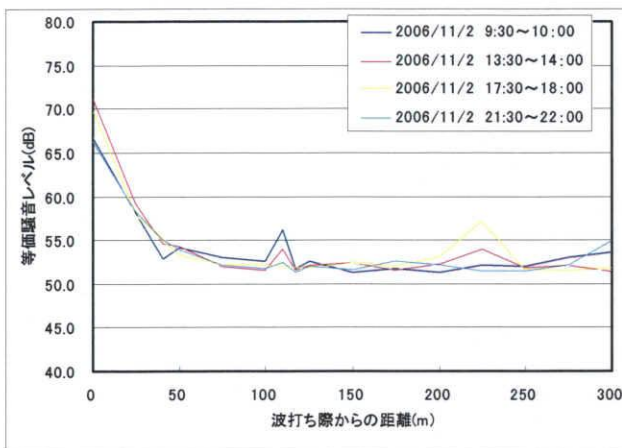


図 2-35 測定結果

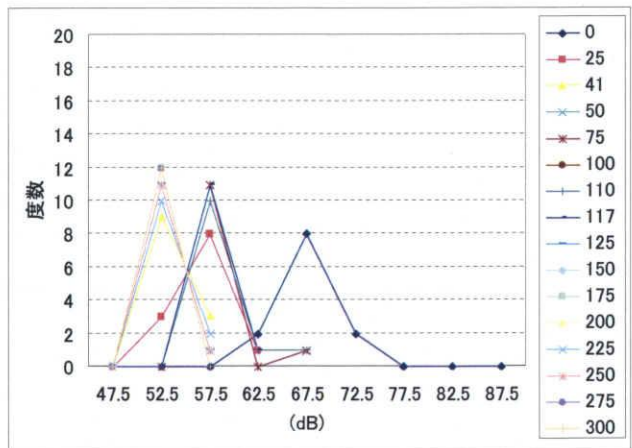


図 2-36 測定結果

経路 A については 10/26 13:30 を除けば測定日や時間帯の違いによる等価騒音レベルの差は殆ど見られない。また波打ち際から 50m 地点からは等価騒音レベルに大きな変動は見られない。10/26 13:30 の測定においては波打ち際から 50m、75m、110m 地点で等価騒音レベルが高くなっている。これらは風が強かったために録音された風切り音の影響を受けている。

度数分布からは波打ち際からの距離が遠くなると等価騒音レベルの最頻値が低くなり、分布の幅が狭くなる傾向が読み取れる。

<経路 B>

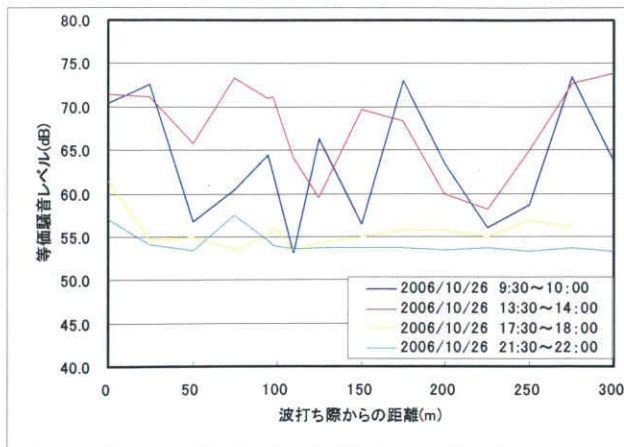


図 2-37 測定結果

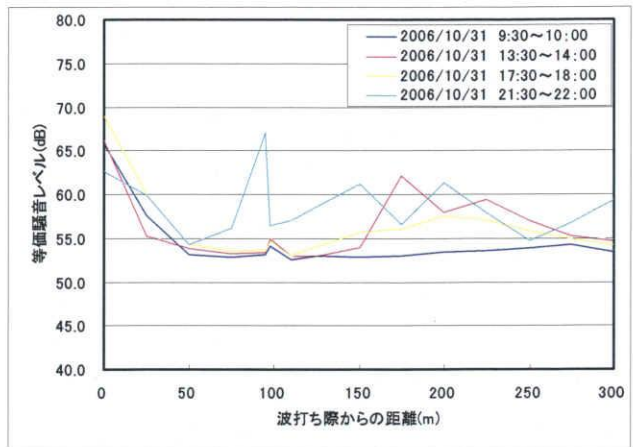


図 2-38 測定結果

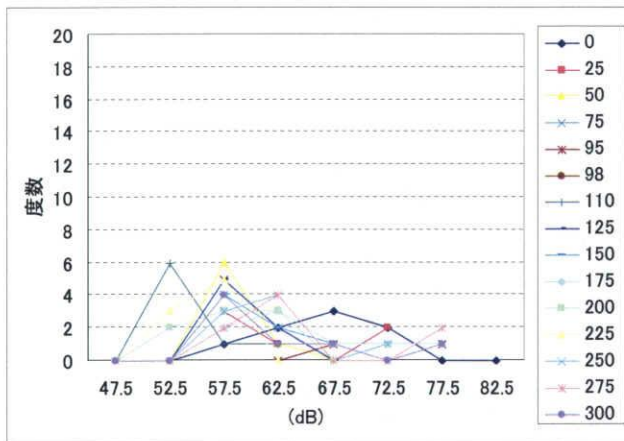


図 2-39 測定結果

経路 B については時間帯の違いによる等価騒音レベルの差が大きく、波打ち際からの距離による変動も見られる。これはグラウンドの横を測定経路が通っているため、グラウンドやテニスコートで活動が行われている場合において等価騒音レベルが全体的に高くなり、また距離による変動も大きくなっている。活動が行われていない場合には経路 A と同様に波打ち際から 50m 地点からは等価騒音レベルに大きな変動は見られない。

度数分布からは波打ち際からの距離が遠くなると等価騒音レベルの分布の幅が狭くなる傾向が僅かに読み取れるが判然としない結果になっている。

<経路 C>

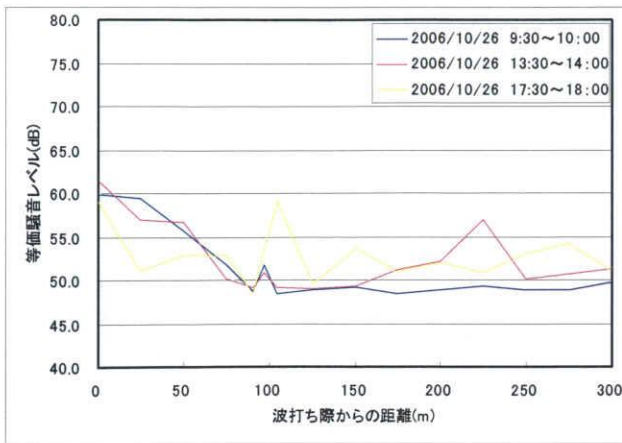


図 2-40 測定結果

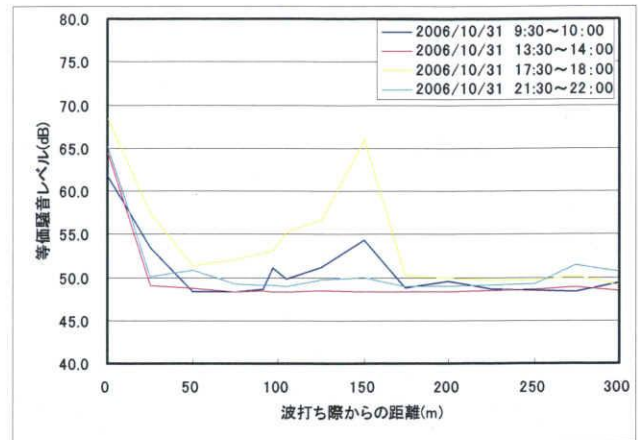


図 2-41 測定結果

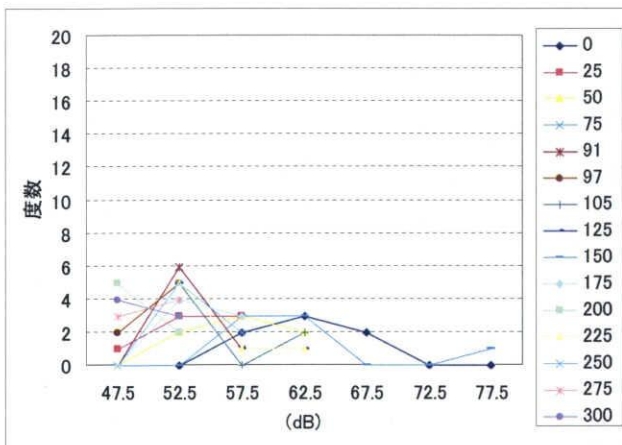


図 2-42 測定結果

経路 C については時間帯の違いによる等価騒音レベルの差がやや読み取れる。特に 10/31 17:30 の測定においては 150m 地点で他の測定と比較すると突出して等価騒音レベルが高くなっている。これはハンドボールコートでのスポーツ活動のホイッスルの音や掛け声の影響を受けているためである。また 10/26 13:30 の測定における 225m 地点では近くでの学生の作業音、10/26 17:30 の測定における 105m 地点では交通音による影響を受けている。経路 B ほどでは無いが学生の課外活動などによる等価騒音レベルの距離による変動が見られる。

度数分布からは波打ち際からの距離が遠くなると等価騒音レベルの分布の幅が狭くなる傾向が読み取れる。

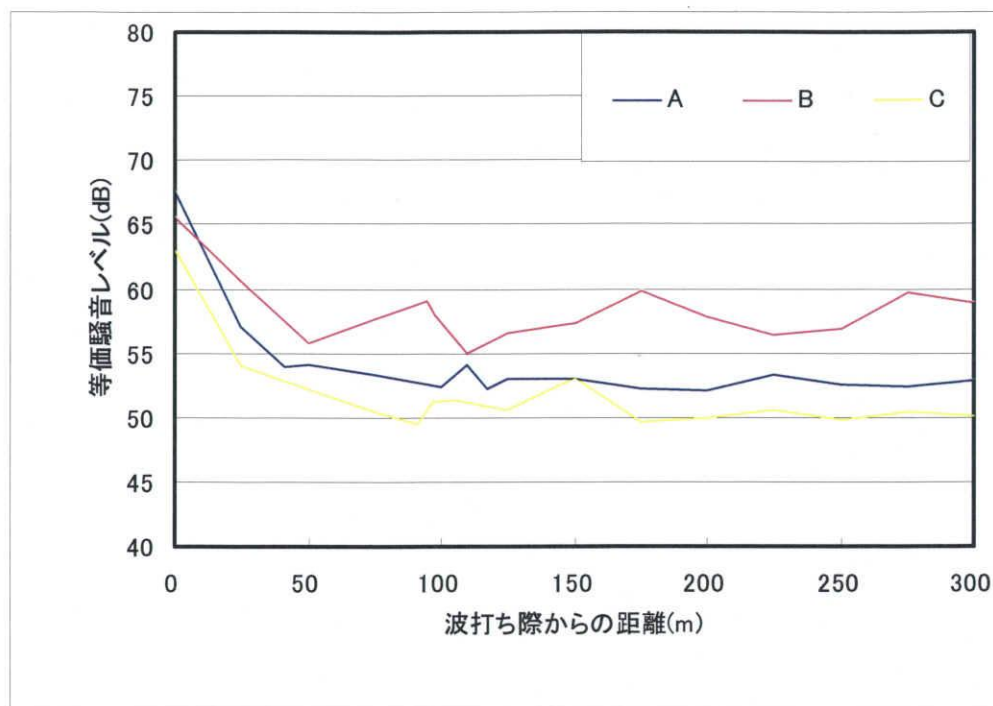


図 2-43 経路別等価騒音レベルの変動

経路別に平均した等価騒音レベルを見ると経路Bが全体的にレベルが高くなっており、次いで経路A、経路Cとなっている。波打ち際での等価騒音レベルを比較すると経路A、経路B、経路Cの順に高くなっている。これは測定機器の設置場所による影響もあると思われるが、海岸性状の影響も大きいと考えられる。経路別に等価騒音レベルを平均した結果からも、経路Aでは波打ち際から50m地点から以降は変動が小さくなっている。経路Bではグラウンド付近でのスポーツ活動の影響を受けて測定距離による変動が見られる。経路Cについてはハンドボールコートでのスポーツ活動の影響を受ける波打ち際から150m地点近辺で変動が見られる。

2-3 小括

海岸波打ち際から三重大学キャンパスに至る経路において等価騒音レベルの測定を行った。その結果夏期においては虫などの音源が他の季節に比べて多く全体的に等価騒音レベルが高くなること、冬期においては波があまり立たず波打ち際での等価騒音レベルが他の季節と比較して低くなることなど、季節による変化を確認することができた。また等価騒音レベルは時間帯による違いはあまり見られないことも把握できた。また経路の違いにより等価騒音レベルに変化が見られた。

今後の課題としてはより正確な測定を行うために測定手法を改善する必要がある。波打ち際からの測定機器の設置距離や、周囲に暗騒音の影響が定常的に発生している場合の対応などを今後検討していく必要がある。

第3章 波音の到達距離に関する分析

3-1 本章の目的

波音が伝搬しているかどうかということについて明確に判断できる指標というものはなく、その判断は人間の聴感で行うしか現実的な方法がないというのが現状である。しかし聴感による評価では客観性がない。そこで距離減衰により音が小さくなるにつれて暗騒音の影響を受け波形が変質を起こすことに着目し、波打ち際での録音波形とキャンパス内の各地点での録音波形を比較してその波形の変質の状態から波音の到達距離を算出する方法について検討を行った。変質の程度については音圧変動と周波数変動の2通りについて比較分析を行い、より正確な方法を検討した。

3-2 音圧変動についての相関分析を用いた波音の到達距離に関する分析方法

3-2-1 分析の概要

分析においては各地点で録音されたデータから海岸道路などを通過する自動車騒音や頭上を通過する航空機騒音などの影響をなるべく受けないような適当な30秒間を切り出した。さらに波打ち際と各地点までの距離による音の到着時間の差を調整した後、録音データから音圧変動を0.1秒単位で読み出し同時刻における波打ち際の波形と各地点での波形を比較分析した。図3-1は25m地点の正規化音圧レベルの変動を、図3-2は25m地点の正規化測定値分布を、図3-3は300m地点の正規化音圧レベルの変動を、図3-4は300m地点の正規化測定値分布を示している。図3-2においては、両値は高い相関を示しており、図3-4においては、両値はかなり低い相関を示している。このように波形を相関分析することにより波音の伝搬状況を把握することができると考えられる。

録音データから読み出した各地点における音圧変動を表すデータのサンプルサイズは300個(30秒、0.1秒毎)であり、これに対する5%有意値は0.113となる。従って相関係数が0.113以上ならば統計的に有意となるが、この相関係数自体が非常に小さな値であり散布図でみても判然としない程度の相関となるため、これは実質的に意味を持つ相関であるということを意味するわけではない。そこで相関係数が連続した2地点で0.2未満となる前の地点までの距離を波音が到達している距離と仮に見なし、波音到達距離を算出した。

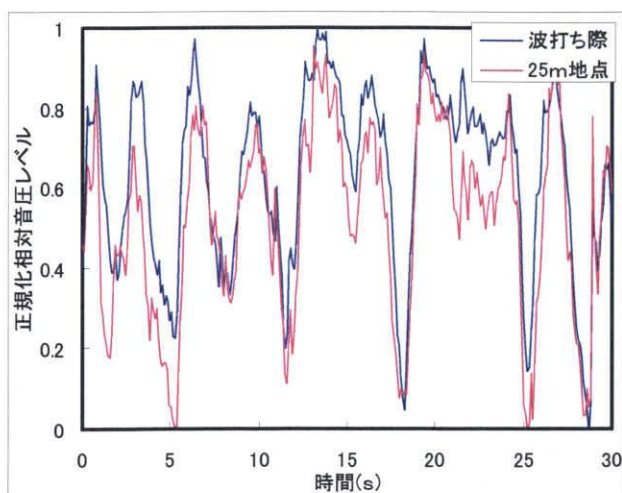


図 3-1 25m地点の正規化音圧レベルの変動

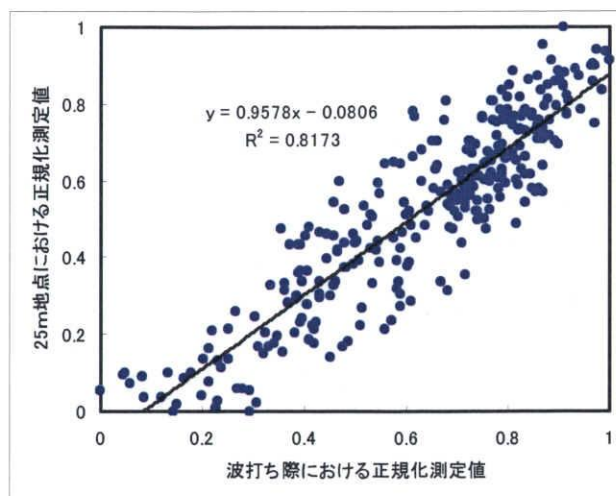


図 3-2 25m地点の正規化測定値分布

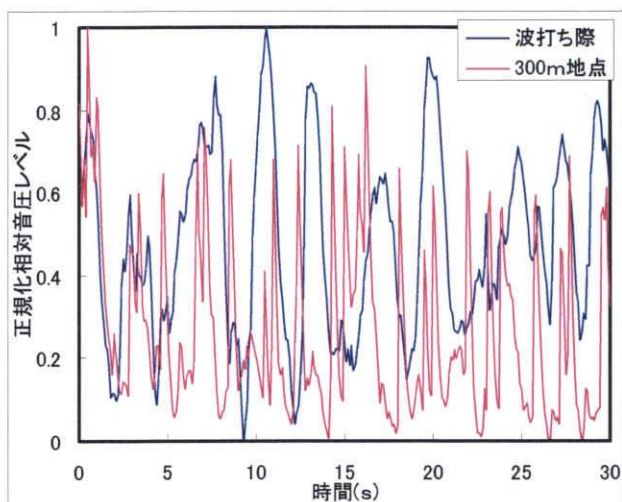


図 3-3 300m地点の正規化音圧レベルの変動

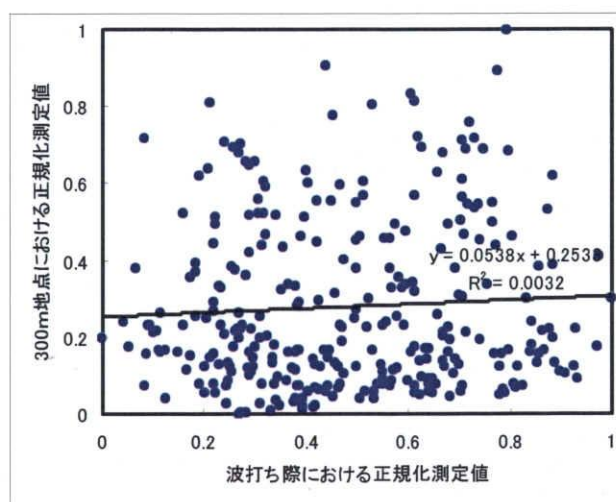


図 3-4 300m地点の正規化測定値分布

3-2-2 季節・時間帯別の各地点の相関係数の変動

以下に各測定期における時間帯ごとの距離による相関係数の変動を示す。

<2005/10>

表 3-1 各測定日時における距離別相関係数の変動

測定日時	0	25	41	50	75	100	110	117	125	150	175	200	225	250	275	300	波音の到達距離(m)
2005/10/26 15:00~15:30	0.994	0.866		0.227		0.027	0.211	0.149			-0.164		0.037				110
2005/10/27 16:00~16:30	0.999	0.936		0.503		0.114	0.148	0.093			0.020		0.196				50
2005/10/28 9:30~10:00	0.999	0.901		0.111		-0.115	0.406	0.095			0.086		0.028				25
2005/10/28 13:30~14:00	0.998	0.860		0.340		0.148	0.313	0.290			0.056		0.067				117
2005/10/28 17:30~18:00	0.990	0.919		0.692		0.451	0.236	0.272			-0.065		0.243				117
2005/10/28 21:30~22:00	0.991	0.761		0.496		0.098	0.022	-0.018			0.074		0.022				50
2005/11/4 10:00~10:30	0.994	0.541		0.203		0.217	0.182	0.119			-0.089		0.261				100
2005/11/4 13:30~14:00	0.959	0.736		0.341		-0.084	0.195	0.056			-0.059		0.196				50
2005/11/4 17:30~18:00	0.994	0.709		0.472		0.121	0.128	0.126			-0.055		0.461				50
2005/11/4 21:30~22:00	0.992	0.884		0.351		0.376	-0.047	0.193			0.212		0.148				100
2005/11/5 10:00~10:30	0.995	0.707		0.099		0.019	-0.122	0.177			0.046		0.140				25
2005/11/5 13:30~14:00	0.997	0.702		0.391		0.163	0.083	0.273			0.316		0.389				50
2005/11/5 17:30~18:00	0.945	0.875		0.585		0.489	0.105	-0.005			0.137		0.088				100
2005/11/5 21:30~22:00	0.964	0.736		0.356		0.112	0.137	0.110			0.153		0.033				50

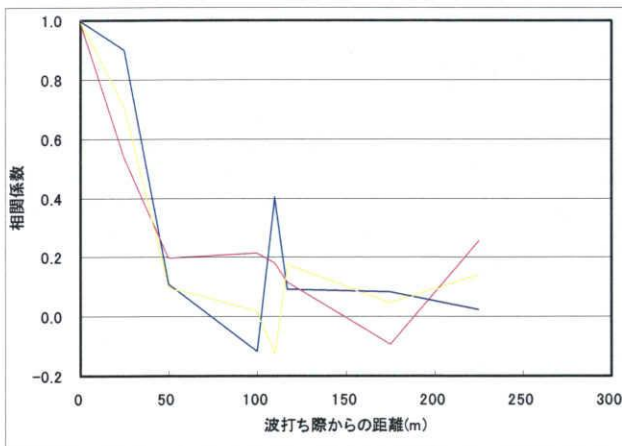


図 3-5 2005/10 朝の相関係数の変動

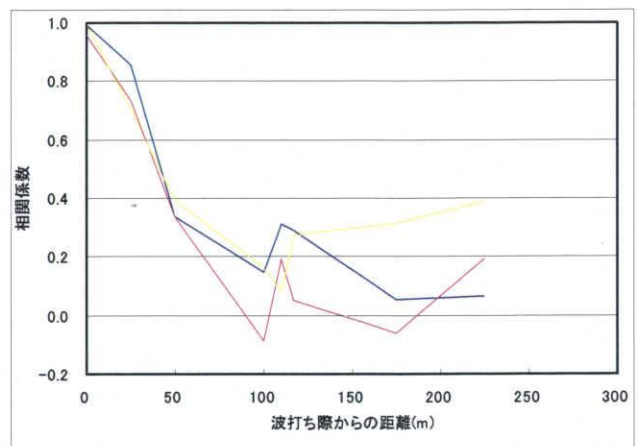


図 3-6 2005/10 昼の相関係数の変動

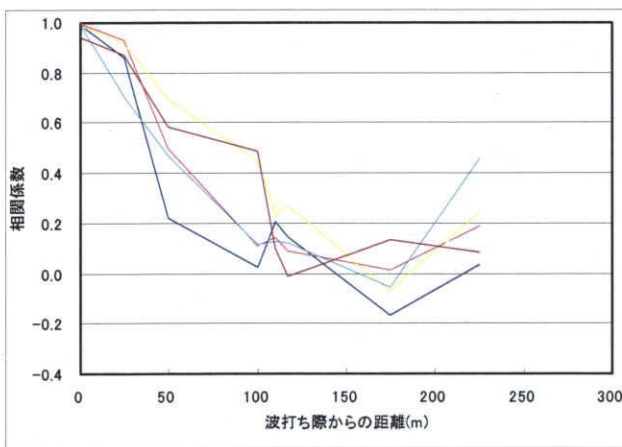


図 3-7 2005/10 夕方の相関係数の変動

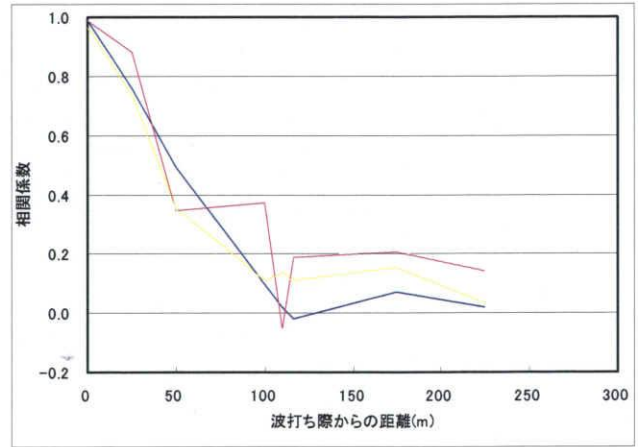


図 3-8 2005/10 夜間の相関係数の変動

波打ち際には当然相関係数が 1 に近い値を示している。海岸道路上にある 110m 地点において前後の地点と比較して相関係数が大きく高くなる場合と低くなる場合がある。また、測定によってはあまり変化しない場合もある。

<2006/1>

表 3-2 各測定日時における距離別相関係数の変動

測定日時	0	25	41	50	75	100	110	117	125	150	175	200	225	250	275	300	波音の到達距離(m)
2006/1/24 9:30~10:00	0.989	0.439	0.156	0.318		0.277	0.286	0.359			-0.091		0.385				225
2006/1/24 13:30~14:00	0.191	0.193	0.305	0.348		0.067	0.084	0.187			-0.068		-0.034				50
2006/1/24 17:30~18:00	0.429	0.194	0.376	0.725		-0.143	0.104	0.029			0.151		0.120				50
2006/1/24 21:30~22:00	0.979	0.418	0.125	0.098		-0.140	0.258	0.024			-0.082		0.123				25
2006/1/25 9:30~10:00	0.973	0.495	0.074	0.157		0.039	0.360	-0.137			0.179		-0.020				25
2006/1/25 13:30~14:00	0.708	0.301	0.213	-0.137		0.071	-0.010	0.067			0.067		0.017				41
2006/1/25 17:30~18:00	0.859	0.556	0.273	0.404		0.095	0.598	0.011			0.020		0.259				110
2006/1/25 21:30~22:00	0.981	0.389	0.130	-0.014		0.006	-0.244	0.292			0.035		0.174				25
2006/1/26 9:30~10:00	0.859	0.205	0.090	0.075		0.006	0.135	0.161			0.085		-0.012				25
2006/1/26 13:30~14:00	0.491	0.244	0.175	-0.089		0.007	-0.198	0.190			0.241		0.106				25
2006/1/26 17:30~18:00	0.985	0.830	0.473	0.213		0.017	0.229	0.066			0.087		0.089				110
2006/1/26 21:30~22:00	0.976	0.154	0.308	0.144		0.044	0.092	0.110			0.305		-0.047				41
2006/1/27 9:30~10:00	0.997	0.649	-0.194	0.147		0.156	0.400	0.246			0.007		-0.004				25
2006/1/27 13:30~14:00	0.972	0.549	0.284	0.095		-0.238	0.027	-0.269			0.139		-0.049				41
2006/1/27 18:00~18:30	0.993	0.123	0.195	0.089		-0.154	-0.008	-0.164			0.003		0.083				0
2006/1/27 23:00~23:30	0.698	0.464	0.147	0.084		0.376	0.635	0.108			0.274		-0.050				25

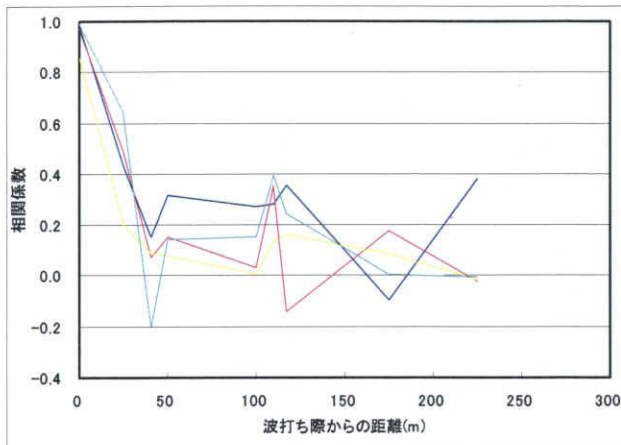


図 3-9 2006/1 朝の相関係数の変動

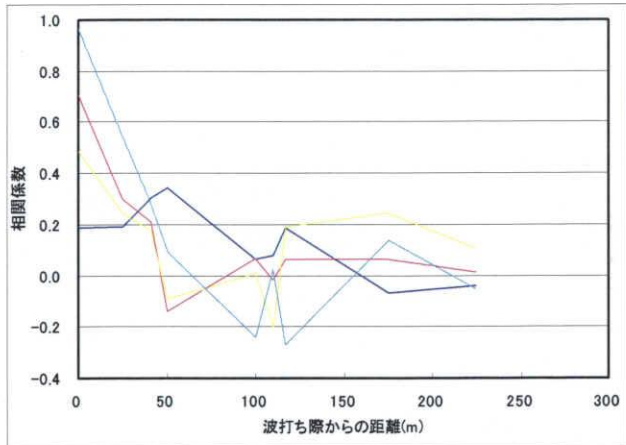


図 3-10 2006/1 昼の相関係数の変動

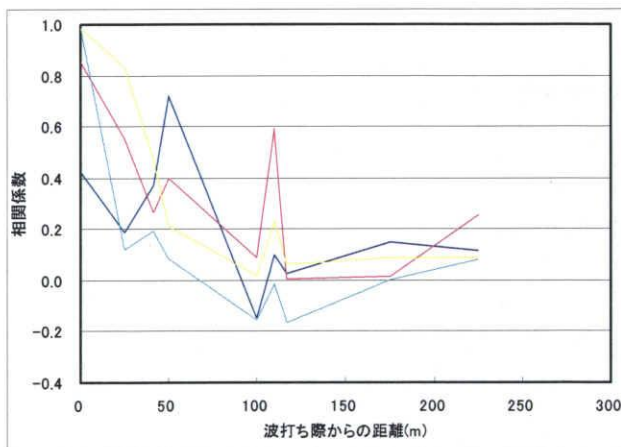


図 3-11 2006/1 夕方の相関係数の変動

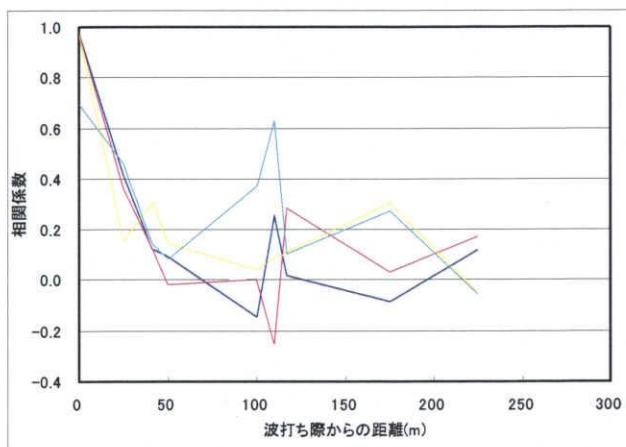


図 3-12 2006/1 夜間の相関係数の変動

風切り音の影響で波打ち際での相関係数が 0.2 や 0.4 といった低い値になっている場合がある。波打ち際での相関係数が低いことに関しては風の影響の他にも波打ち際の音圧レベルが低かったことも影響していると思われる。また、110m地点において前後の地点と比較して相関係数が大きく高くなる場合と低くなる場合がある。

<2006/4>

表 3-3 各測定日時における距離別相関係数の変動

測定日時	0	25	41	50	75	100	110	117	125	150	175	200	225	250	275	300	波音の到達距離(m)
2006/4/18 17:30~18:00	0.995	0.925	0.734	0.512	0.308	0.285	0.138	-0.030	0.291	0.046	0.173	-0.089	-0.011	0.191	-0.295	-0.247	100
2006/4/18 21:30~22:00	0.993	0.863	0.705	0.457	0.069	0.359	0.144	0.351	-0.004	0.191	0.153	0.009	-0.120	0.251	0.064	0.168	117
2006/4/26 9:30~10:00	0.983	0.692	0.642	0.216	-0.202	0.334	0.240	-0.112	-0.065	0.035	0.119	-0.233	0.084	0.044	-0.013	0.187	110
2006/4/26 13:30~14:00	0.994	0.923	0.643	0.290	0.424	0.288	0.141	-0.032	0.083	-0.128	0.119	-0.019	-0.061	0.326	0.314	0.059	100
2006/4/26 17:30~18:00	0.997	0.902	0.744	0.416	0.154	0.252	0.118	0.147	0.454	0.065	-0.035	-0.054	-0.105	0.085	0.075	0.164	100
2006/4/26 21:30~22:00	0.992	0.887	0.842	0.734	0.627	0.284	0.448	0.040	-0.001	-0.064	0.172	0.092	0.280	0.081	-0.007	0.067	110
2006/4/30 9:30~10:00	0.993	0.637	0.567	0.230	0.164	0.258	0.300	0.378	0.190	0.128	0.012	0.343	0.067	-0.066	-0.190	0.157	117
2006/4/30 13:30~14:00	0.982	0.349	-0.133	0.564	0.020	0.275	0.393	0.420	0.095	0.082	-0.201	0.161	0.024	0.331	0.193	0.106	117
2006/4/30 17:30~18:00	0.969	0.904	0.516	0.260	0.472	0.231	0.279	0.215	0.311	-0.101	0.369	-0.093	0.205	0.210	0.127	0.056	250
2006/4/30 21:30~22:00	0.998	0.937	0.869	0.659	0.478	0.333	0.320	0.088	0.224	0.162	0.092	0.264	0.100	-0.169	0.092	0.102	125
2006/5/3 10:00~10:30	0.987	0.930	0.806	0.395	0.573	0.142	0.182	0.079	0.119	0.215	0.551	0.257	0.268	0.102	0.369	0.179	75
2006/5/3 13:30~14:00	0.895	0.833	0.564	0.188	-0.027	0.262	0.223	0.352	0.049	-0.009	0.062	0.260	0.260	0.045	0.253	0.016	41
2006/5/3 17:30~18:00	0.895	0.525	0.301	0.348	0.173	-0.001	0.147	0.276	0.168	0.059	0.246	0.268	0.215	0.095	0.291	0.480	50
2006/5/3 21:30~22:00	0.994	0.943	0.789	0.850	0.847	0.711	0.665	0.372	0.769	0.589	0.586	0.565	0.326	0.526	0.305	0.462	300

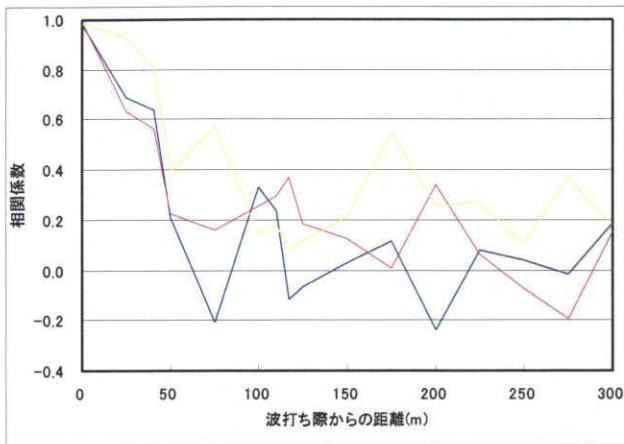


図 3-13 2006/4 朝の相関係数の変動

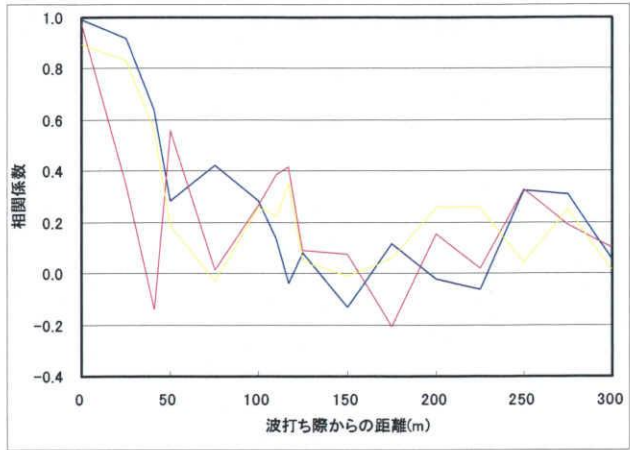


図 3-14 2006/4 昼の相関係数の変動

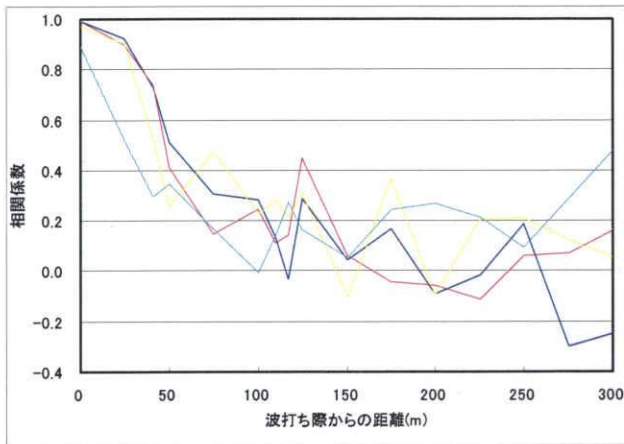


図 3-15 2006/4 夕方の相関係数の変動

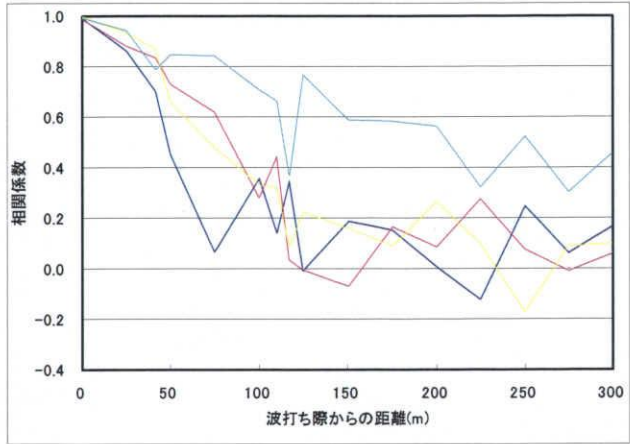


図 3-16 2006/4 夜間の相関係数の変動

波打ち際には相関係数が1に近い値を示している。

5/3 21:30における測定では全測定で唯一300mまで波音が到達しているという結果が得られている。この時の測定では聴感でも300m以上波音が到達しており、三重大学三翠ホールまで波音が到達していることが確認されている。

<2006/7>

表 3-4 各測定日時における距離別相関係数の変動

測定日時	0	25	41	50	75	100	110	117	125	150	175	200	225	250	275	300	波音の到達距離(m)
2006/7/27 9:30~10:00	0.991	0.812	0.449	0.051	0.148	0.304	0.165	0.224	0.128	0.250	0.045	0.143	0.380	0.293	0.009	0.244	41
2006/7/27 13:30~14:00	0.936	0.775	0.175	0.154	0.202	0.017	-0.079	-0.225	-0.116	0.174	0.606	0.345	0.440	0.353	0.141	-0.003	25
2006/7/27 17:30~18:00	0.994	0.720	0.781	0.795	0.102	0.190	-0.038	0.047	0.193	0.175	-0.080	0.184	0.012	-0.048	0.056	0.121	50
2006/7/27 21:30~22:00	0.996	0.905	0.796	0.178	0.304	0.084	0.239	0.042	0.051	0.286	-0.211	0.045	0.192	-0.105	-0.061	0.114	110
2006/7/28 9:30~10:00	0.998	0.951	0.562	0.033	0.085	0.398	0.172	0.042	0.027	0.224	0.173	0.097	0.134	0.074	0.141	0.066	41
2006/7/28 13:30~14:00	0.893	0.736	0.120	0.016	0.310	0.240	0.063	0.311	0.355	0.190	-0.024	-0.026	0.225	0.216	0.065	0.105	25
2006/7/28 17:30~18:00	0.963	0.893	0.601	0.388	0.069	0.076	0.123	-0.274	-0.088	0.107	-0.019	0.078	0.311	0.114	-0.133	0.206	50
2006/7/28 21:30~22:00	0.997	0.470	0.293	0.218	0.223	-0.106	0.247	0.045	0.053	-0.036	-0.034	0.083	0.187	0.284	0.116	0.114	110
2006/8/2 9:30~10:00	0.997	0.921	0.782	0.729	0.272	0.137	0.335	0.123	0.014	0.113	0.050	0.104	-0.116	0.027	-0.071	0.177	110
2006/8/2 13:30~14:00	0.983	0.850	0.695	0.430	0.364	0.021	0.320	0.115	-0.022	0.008	0.031	0.318	-0.023	0.101	0.212	-0.157	110
2006/8/2 17:30~18:00	0.953	0.877	0.732	0.763	0.246	0.137	-0.156	0.215	0.073	-0.118	0.083	0.143	-0.007	0.387	-0.048	0.439	75
2006/8/2 21:30~22:00	0.996	0.893	0.908	0.702	0.388	0.273	0.286	0.152	-0.244	0.217	0.156	0.024	0.059	0.229	0.010	0.272	110
2006/8/3 9:30~10:00	0.996	0.930	0.851	0.461	0.168	-0.044	-0.098	0.108	-0.037	0.163	-0.089	-0.155	-0.212	-0.179	0.064	0.229	50
2006/8/3 13:30~14:00	0.994	0.729	0.489	0.310	0.160	0.162	-0.021	0.018	0.164	-0.143	0.133	-0.231	-0.071	-0.152	-0.282	-0.045	50
2006/8/3 17:30~18:00	0.984	0.818	0.583	0.298	0.022	0.112	0.296	0.134	0.035	0.267	0.403	0.134	0.064	-0.036	0.217	0.186	50
2006/8/3 22:30~23:00	0.995	0.883	0.832	0.681	0.189	0.396	0.093	-0.023	-0.020	0.097	0.131	0.174	0.377	-0.110	-0.085	0.133	100

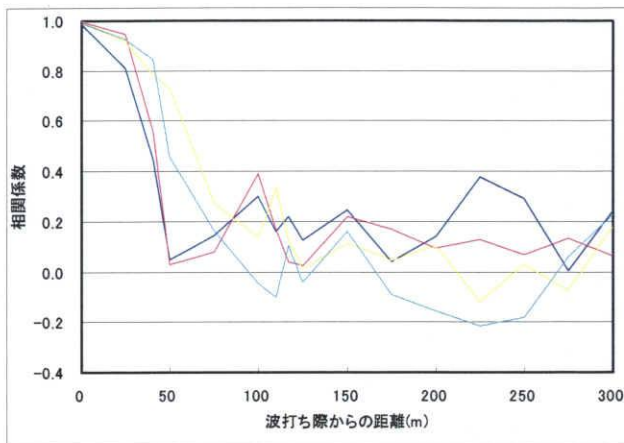


図 3-17 2006/7 朝の相関係数の変動

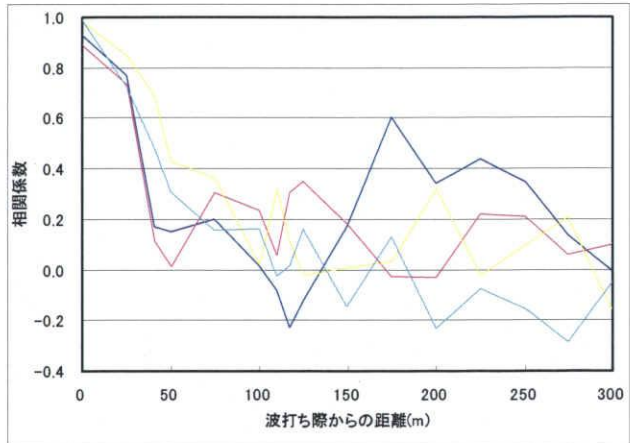


図 3-18 2006/7 昼の相関係数の変動

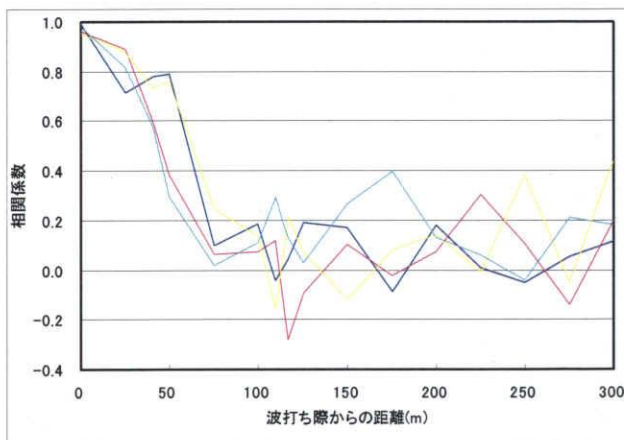


図 3-19 2006/7 夕方の相関係数の変動

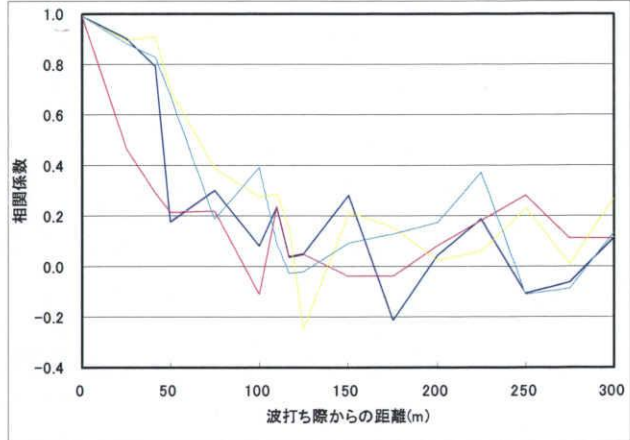


図 3-20 2006/7 夜間の相関係数の変動

夏期の測定においても波打ち際には相関係数が1に近い値を示している。

また、110m地点において前後の地点と比較して相関係数が大きく高くなる場合と低くなる場合がある。

<2006/10>

表 3-5 各測定日時における距離別相関係数の変動

測定日時	0	25	41	50	75	100	110	117	125	150	175	200	225	250	275	300	波音の到達距離(m)
2006/10/26 9:30~10:00	0.999	0.193	0.505	0.124	0.265	0.101	0.131	0.193	0.135	0.280	0.110	-0.031	0.140	0.320	-0.007	0.272	75
2006/10/26 13:30~14:00	0.985	0.310	0.098	0.178	-0.011	0.026	0.023	0.327	0.163	-0.043	0.034	0.099	0.068	-0.092	0.195	0.019	25
2006/10/26 17:30~18:00	0.991	0.919	0.691	0.140	0.552	0.366	-0.078	0.073	0.102	0.102	0.048	0.121	0.213	0.225	0.157	0.053	100
2006/10/26 21:30~22:00	0.988	0.904	0.677	0.507	0.383	0.332	0.439	0.166	0.136	0.021	0.183	-0.066	0.086	0.192	0.069	0.023	110
2006/10/31 9:30~10:00	0.991	0.881	0.820	0.657	0.573	0.346	0.149	0.121	0.239	-0.175	-0.010	-0.010	0.318	0.054	-0.085	0.026	100
2006/10/31 13:30~14:00	0.990	0.855	0.749	0.520	0.386	0.196	0.299	0.109	0.028	0.070	0.112	0.173	0.063	-0.048	0.275	-0.187	110
2006/10/31 17:30~18:00	0.995	0.804	0.706	0.740	0.615	0.496	0.182	0.140	-0.019	-0.101	0.356	0.134	0.036	0.056	0.256	-0.074	100
2006/10/31 21:30~22:00	0.989	0.805	0.053	0.337	0.070	0.122	0.054	0.073	0.213	0.025	0.207	0.280	-0.177	-0.094	0.102	-0.150	50
2006/11/2 9:30~10:00	0.985	0.933	0.679	0.421	0.245	0.394	0.096	0.161	0.209	0.099	-0.228	0.236	0.275	-0.117	0.076	-0.064	100
2006/11/2 13:30~14:00	0.999	0.958	0.892	0.892	0.623	0.541	0.193	0.037	0.180	0.393	0.104	-0.072	0.063	-0.122	0.174	0.016	100
2006/11/2 17:30~18:00	0.999	0.745	0.487	0.769	0.644	0.514	0.348	0.138	0.238	0.094	0.514	0.123	-0.086	0.005	0.085	0.168	175
2006/11/2 21:30~22:00	0.982	0.878	0.798	0.201	0.768	0.388	0.176	-0.003	0.095	0.126	0.393	0.130	0.166	0.078	0.162	0.217	100

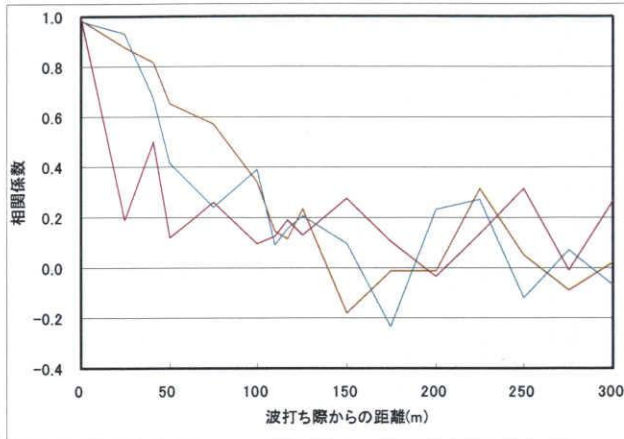


図 3-21 2006/10 朝の相関係数の変動

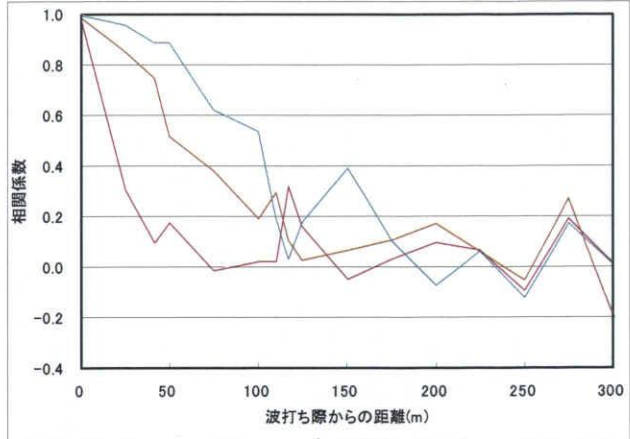


図 3-22 2006/10 昼の相関係数の変動

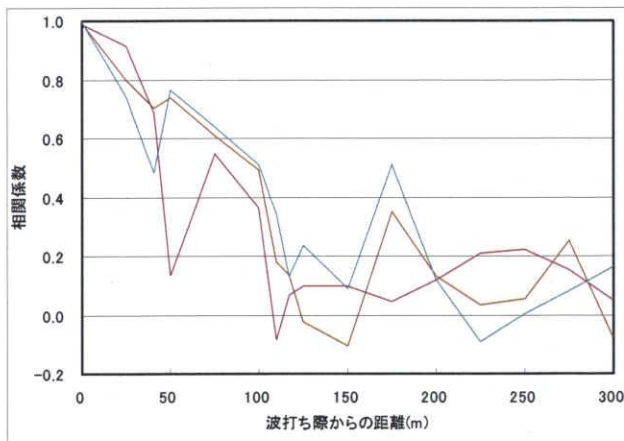


図 3-23 2006/10 夕方の相関係数の変動

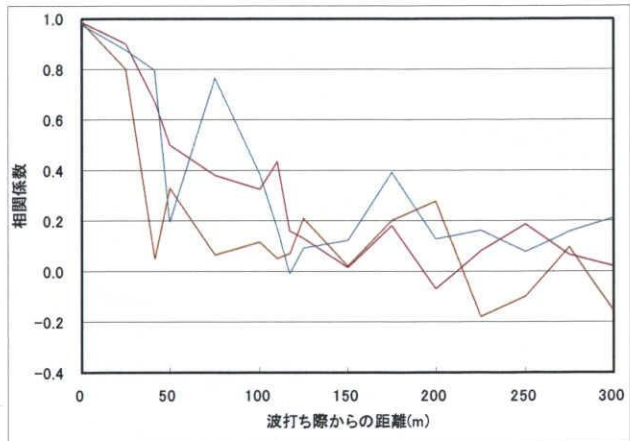


図 3-24 2006/10 夜間の相関係数の変動

波打ち際には相関係数が1に近い値を示している。

110m地点においては前後の地点と比較して相関係数が低くなる場合が多いことが分かる。

昼の測定結果から海岸道路より海側の地点で、測定日の違いによる相関係数への影響が特に見て取れる。

<全期測定結果>

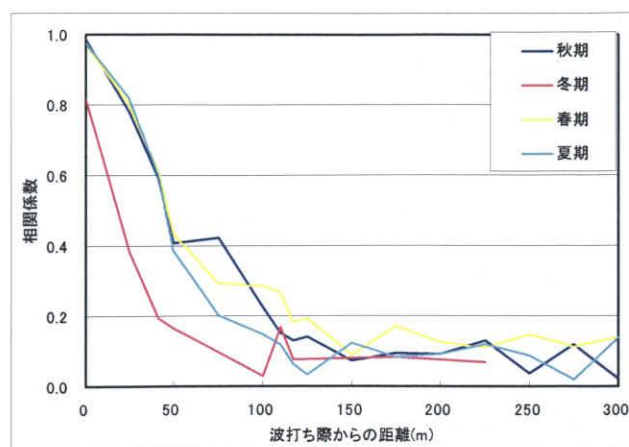


図 3-25 季節別相関係数の変動

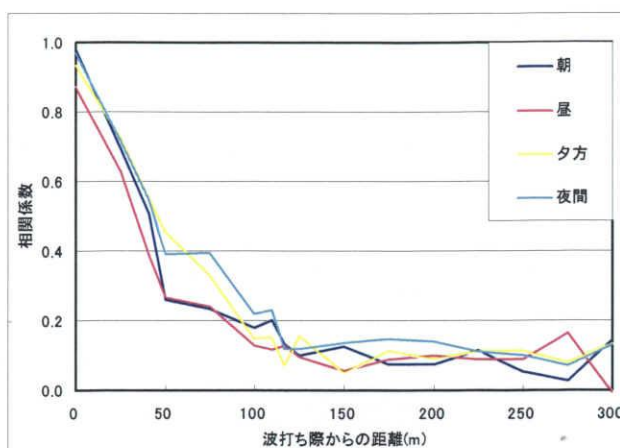


図 3-26 時間帯別相関係数の変動

季節別では冬季において全体的に相関係数の値が低く、他の季節ではあまり差が見られないことが分かる。ただこれは冬季の測定では殆ど波が立っておらず、波打ち際音圧レベルが 55dB 以下の範囲に冬季のデータの殆どが入ってしまうということの影響が大きいと思われる。

時間帯別では全体的にあまり大きな差異は見られないが、50m～100mの間において朝・昼と夕方・夜間の間に差が見られ、夕方・夜間の方が伝搬しやすいことが分かる。また 50m地点において母平均の差の検定の結果、夕方と朝・昼の間に有意差が見られた。

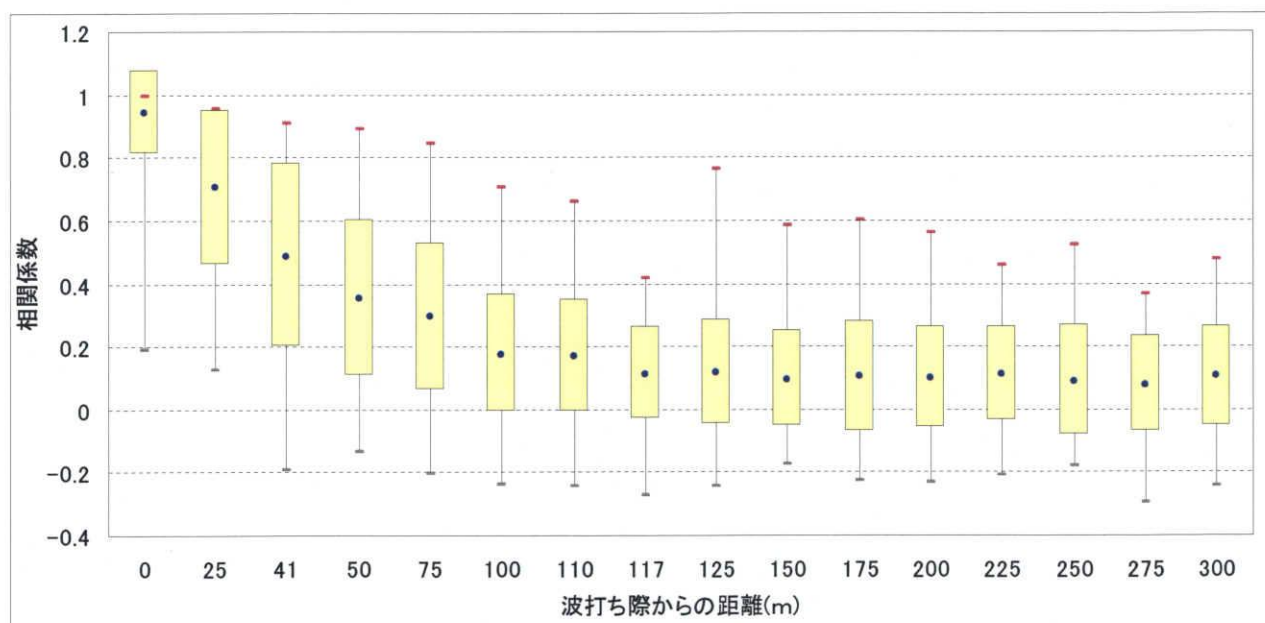


図 3-27 相関係数の平均及び分布

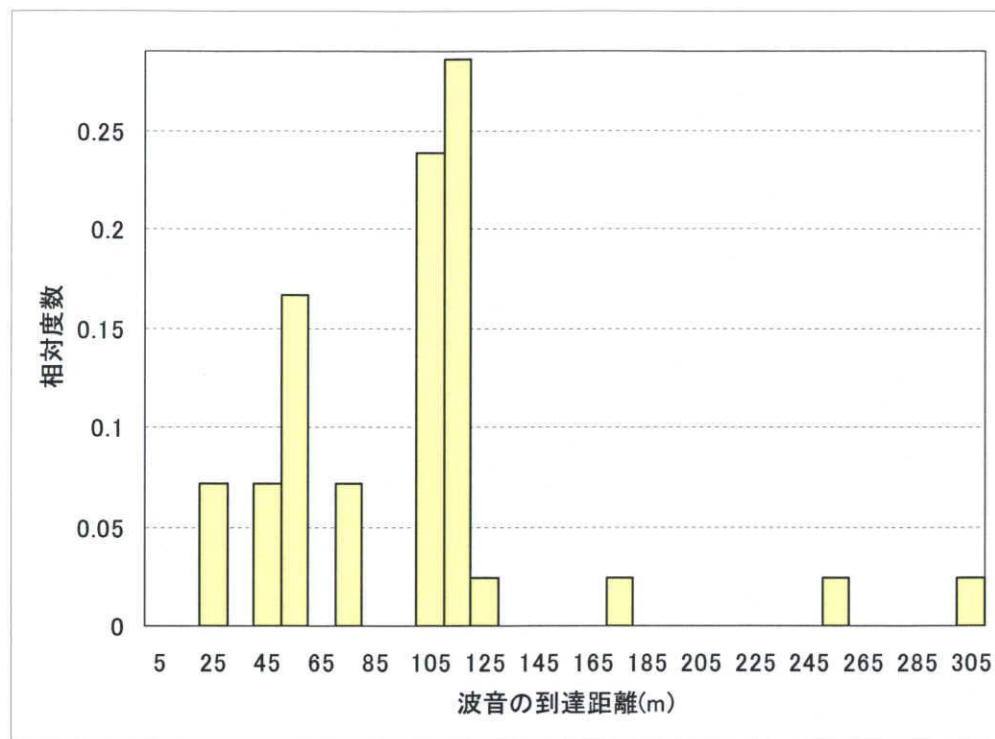


図 3-28 波音の到達距離の度数分布

図 3-27 に経路 A に距離別相関係数の平均及び分布を示す。海岸付近では標準偏差がやや大きく、堤防から内陸側においては小さくなっている。また内陸側では地点間での平均値や標準偏差がほぼ等しくなっており、大きな変動は見られなくなっている。

図 3-28 に伝搬距離測定値の度数分布を示す。堤防付近の 100m 前後で最も高い頻度を示し、それ以降の距離の頻度は少ないことが分かる。

<2006/10 経路別>

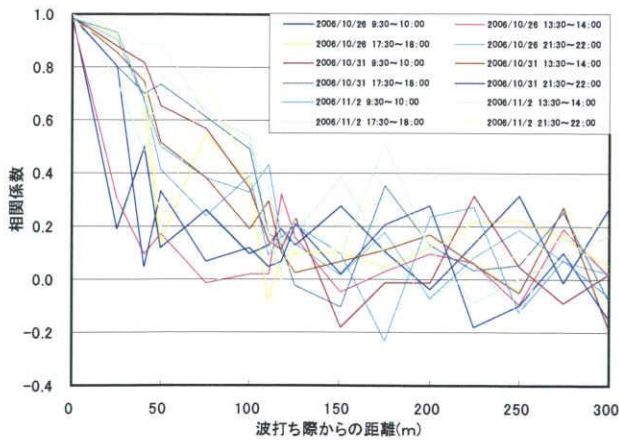


図 3-29 経路 A における相関係数の変動

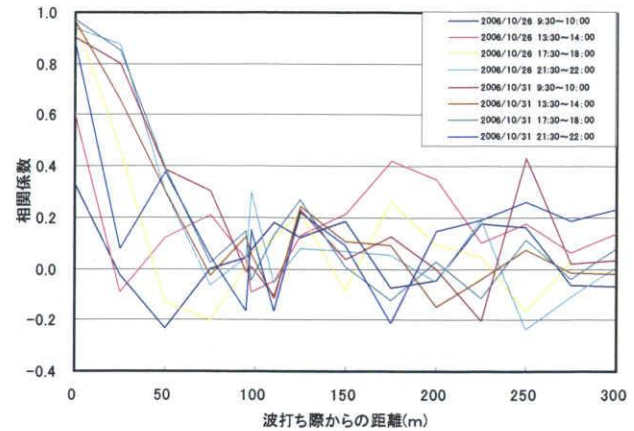


図 3-30 経路 B における相関係数の変動

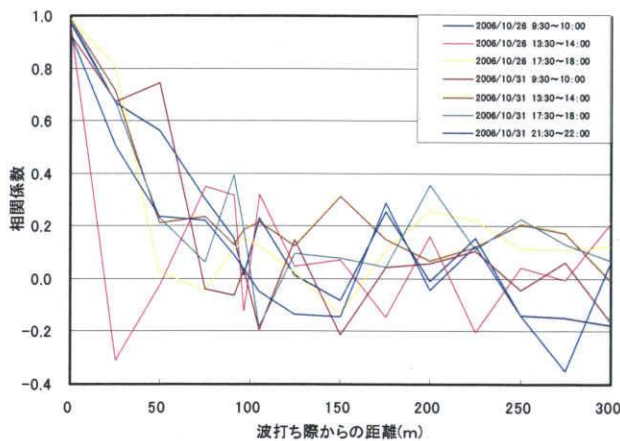


図 3-31 経路 C における相関係数の変動

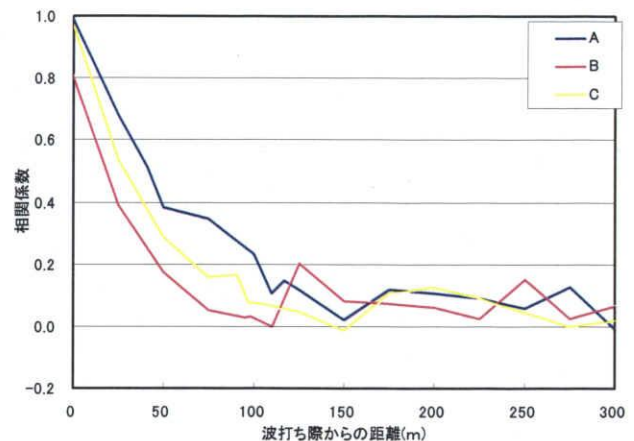


図 3-32 経路別相関係数の変動

10/26 9:30 及び 13:30 の測定については風が強く、大きな風切り音が録音されたため他の時間帯の測定と比較して相関値が低くなっている場合がある。また経路 C における 10/31 21:30 の測定での 275 m 地点でも風切り音が確認されている。

2006/10 における全測定において得られた相関値を測定経路別に平均した図 3-32 からは、海岸より内陸側の地点において、経路 A が他の経路よりも相関値が高くなる傾向にある。また波打ち際からの距離が等しい測定点での相関値の分布における母平均の差の検定の結果、波打ち際から 75m~100m の地点において経路 A と経路 B の値には有意差が生じている事が分かった。原因としては、経路上の土地形状及び地表面性状、障害物の有無などの違いによる影響が考えられる。

3-2-3 波音到達距離の算出結果と聴取記述との比較による考察

この測定の際には同時に測定者による波音の聞き取りを含む音環境に関する主観的記述評価を行っている。主観的記述評価では各測定地点において波音が聞こえた程度を◎、○、●、△、×の5段階で評価し、他にどのような音が周囲で聞こえたかを大、中、小の3段階で記入した。付録にその結果を示す。

表 3-6 から 3-8 は各経路における、測定者の主観判断による波音到達距離と相関係数による波音到達距離の算出結果を示している。○は波音が十分聞こえる地点の波打ち際からの最大距離を表し、△は耳を澄ませば波音が微かに聞き取れるという地点の波打ち際からの最大距離を表している。相関係数により算出した波音の到達距離が○と△の間にある場合、算出値と主観判断はほぼ一致していると考えられる。表ではこの範囲に収まらなかった測定結果をグレーに着色している。

表 3-6 では 11/2 において主観判断値よりも算出値が小さくなっており、波音以外の音源による影響が原因と思われる。

表 3-7 では殆どの測定において、主観判断値よりも算出値が小さくなっており両者の一致が見られない。これは測定値に風切り音が大きく影響したものと思われる。

表 3-8 では主観判断値と算出値は良い一致を示している。

ノイズなどの影響を排除すれば、概ねこれまで用いてきた算出法によって得られる到達距離は聴感による波音到達距離と一致することが期待できる。

<経路 A>

表 3-6 経路 A における波音の到達距離

測定日時	○	相関係数による算出	△
10/26 9:30～10:00	41	75	100
10/26 13:30～14:00	41	25	50
10/26 17:30～18:00	75	100	100
10/26 21:30～22:00	125	110	150
10/31 9:30～10:00	75	100	150
10/31 13:30～14:00	100	110	125
10/31 17:30～18:00	100	100	150
10/31 21:30～22:00	50	50	75
11/2 9:30～10:00	225	100	250
11/2 13:30～14:00	175	100	225
11/2 17:30～18:00	110	175	175
11/2 21:30～22:00	125	100	225

<経路 B>

表 3-7 経路 B における波音の到達距離

測定日時	○	相関係数による算出	△
10/26 9:30～10:00	50	0	110
10/26 13:30～14:00	50	0	98
10/26 17:30～18:00	50	25	75
10/26 21:30～22:00	25	50	95
10/31 9:30～10:00	98	75	175
10/31 13:30～14:00	98	50	150
10/31 17:30～18:00	98	50	98
10/31 21:30～22:00	50	50	95

<経路 C>

表 3-8 経路 C における波音の到達距離

測定日時	○	相関係数による算出	△
10/26 9:30～10:00	25	75	75
10/26 13:30～14:00	25	0	25
10/26 17:30～18:00	25	25	91
10/26 21:30～22:00	50		97
10/31 9:30～10:00	25	50	97
10/31 13:30～14:00	50	75	97
10/31 17:30～18:00	50	91	97
10/31 21:30～22:00	25	75	97

3-3 周波数分布による判別を用いた波音の到達距離に関する分析方法

3-3-1 分析の概要と結果

図 3-34 は MP3 の録音データから周波数分布を読み出し、DAT 録音のデータから読み出した周波数分布との比較を行った結果を示している。この結果によれば、圧縮録音である MP3 の録音データからは正確な周波数分布を算出することはできず、今回使用した MP3 の内蔵マイクを使用した録音データから周波数分析を行うことはできなかった。そのため、2006 秋期の DAT 録音のデータのみを使用し、周波数についての分析を行った。

DAT 録音された音データを吉正電子株式会社のサウンドアナライザを使用して取り込み、環境騒音アナライザから出力した音をリアルタイムアナライザにより周波数分布を分析した。波音到達距離の算出には波打ち際における周波数分布に対する各地点での周波数分布についての相関分析と、クラスター分析を用いたカテゴリー分類による分析の 2 通りの方法を行った。

周波数分布についての相関分析では一回の測定において得られる周波数変動のデータのサンプルサイズは 20Hz から 16000Hz までの 30 個であり、これに対する 5%有意値は 0.361 となる。従って相関係数が 0.361 以上ならば統計的に有意となるため、相関係数が連続した 2 地点で 0.361 未満となる前の地点までの距離を波音が到達している距離と仮に見なし、波音到達距離を算出した。図 3-34 に周波数についての相関係数の変動を示す。

クラスター分析を用いたカテゴリー分類による分析では EXCEL 多変量解析 ver.5 を使い、ウォード法により 2 つのカテゴリーに分類し、波打ち際での周波数分布と同じカテゴリーに分類された地点までを波音が到達していると思なし波音到達距離を算出した。距離計算は原データのユークリッド距離で行った。図 3-35、37、39、41 に各測定における周波数分布を、図 3-36、38、40、42 にクラスター分析樹形図を示す。

また、DAT を用いた音圧変動に対する相関分析も 3-2 と同様の方法で行った。結果を図 3-43 に示す。併せて海岸に打ち寄せる波音のパワースペクトル分析において、波の周期的レベル変化は高周波域に見られるとの知見が得られており [8]、フィルターを掛けることでより高い精度で波音の到達距離を算出できると考えた。11/2 13:00 の測定結果において切断周波数 1kHz でハイパスフィルター処理を行った場合と処理を行わなかった場合の相関係数の変動を比較した。図 3-44 にその結果を示す。

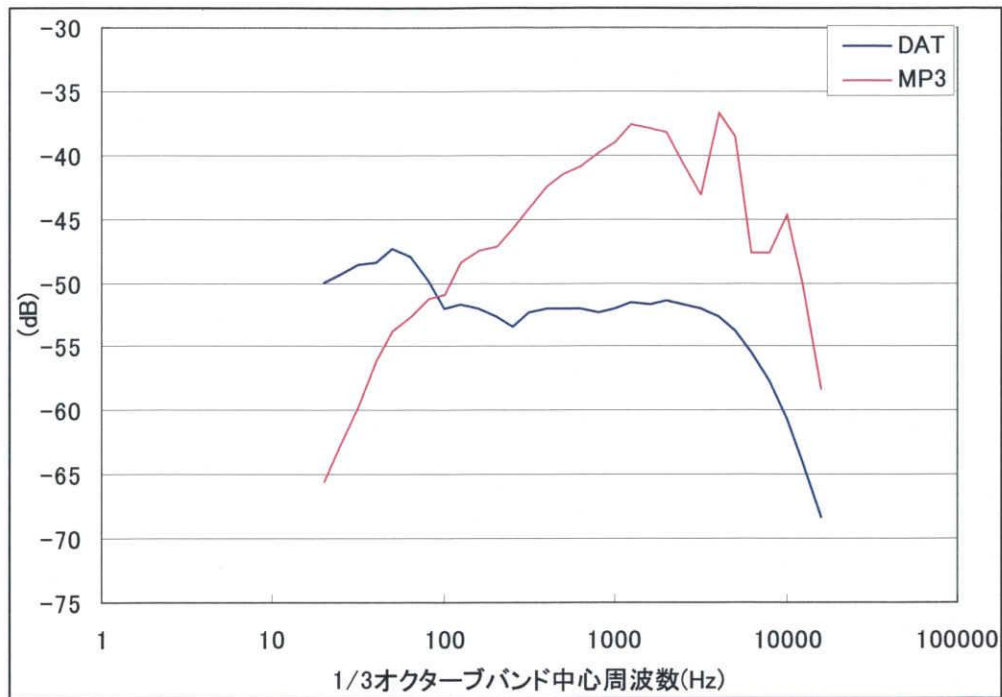


図 3-33 MP3 録音と DAT 録音の周波数分布

<周波数に対する相関分析結果>

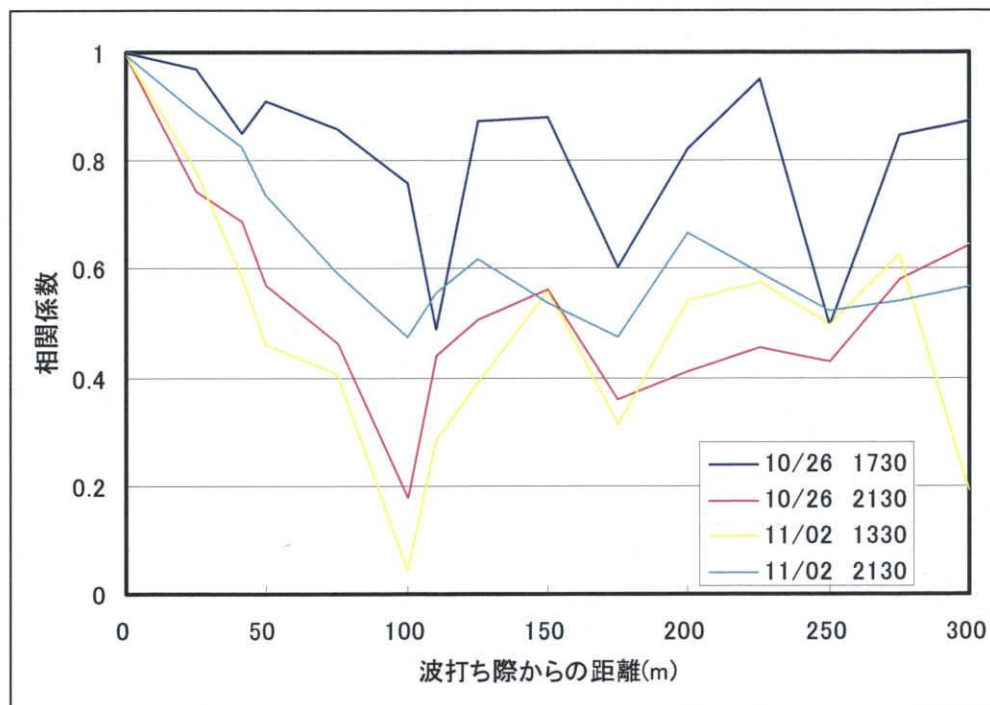


図 3-34 相関係数の変動

<クラスター分析を用いた分類による分析結果>

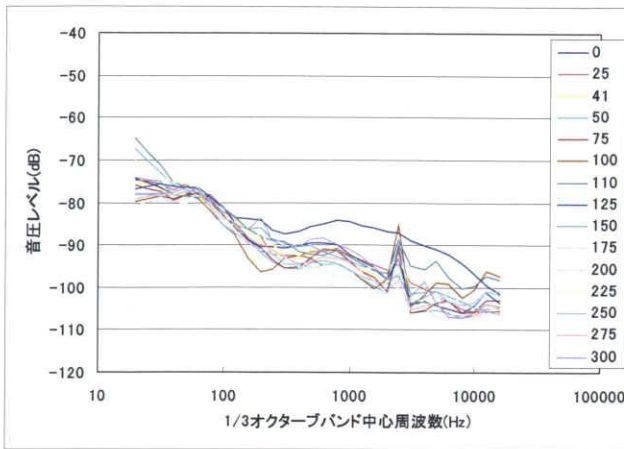


図 3-35 10/26 17:30 測定結果

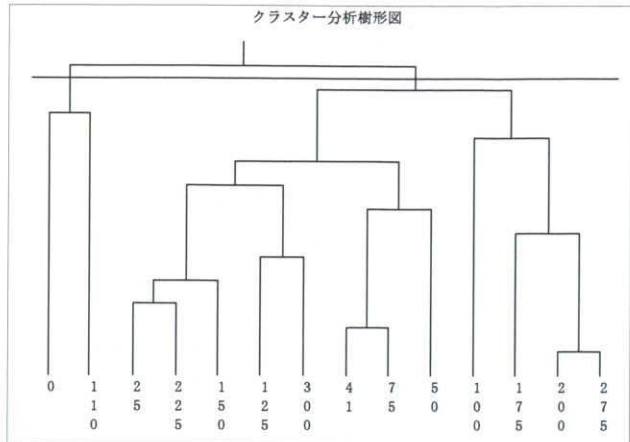


図 3-36 10/26 17:30 クラスター分析樹形図

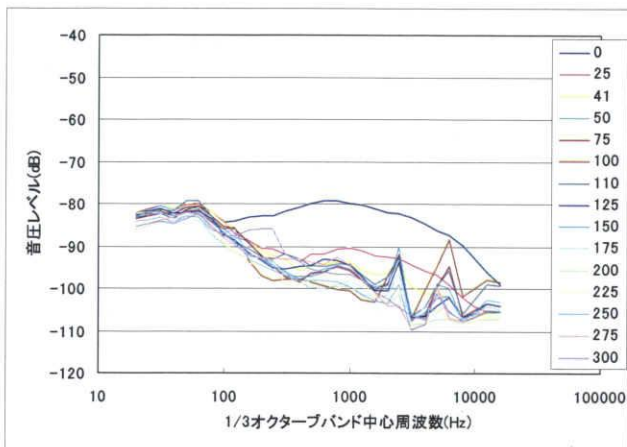


図 3-37 10/26 21:30 測定結果

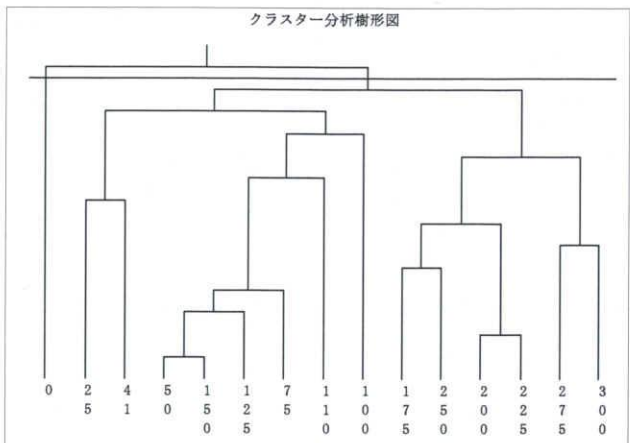


図 3-38 10/26 21:30 クラスター分析樹形図

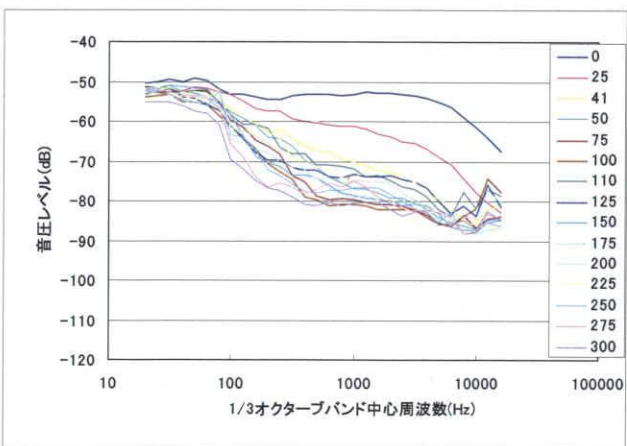


図 3-39 11/2 13:30 測定結果

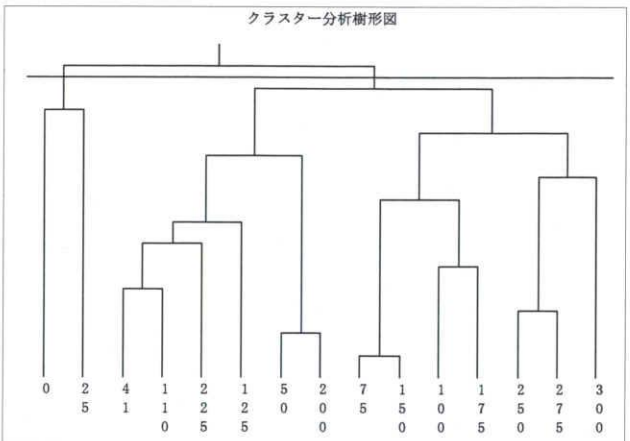


図 3-40 11/2 13:30 クラスター分析樹形図

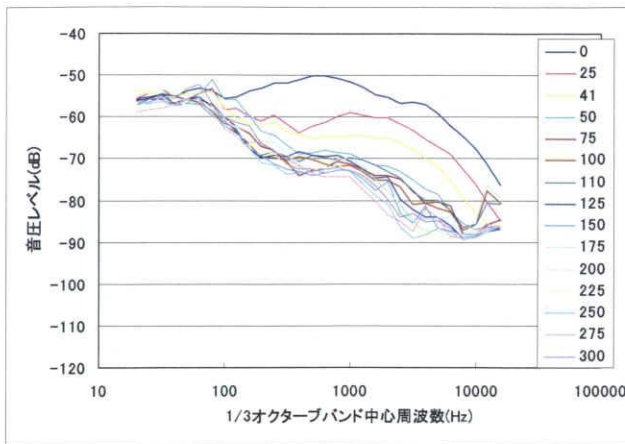


図 3-41 11/2 21:30 測定結果

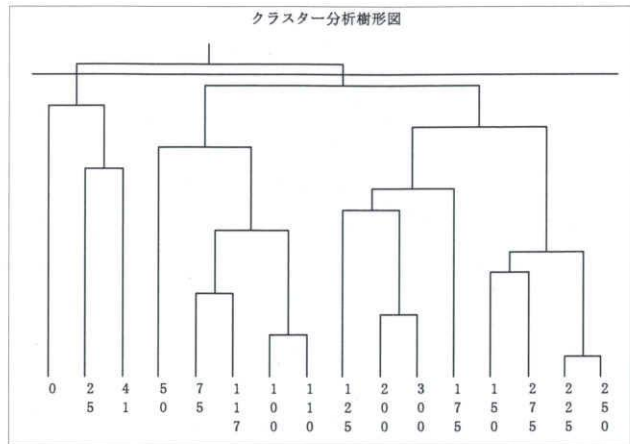


図 3-42 11/2 21:30 クラスター分析樹形図

<音圧変動に対する相関分析結果>

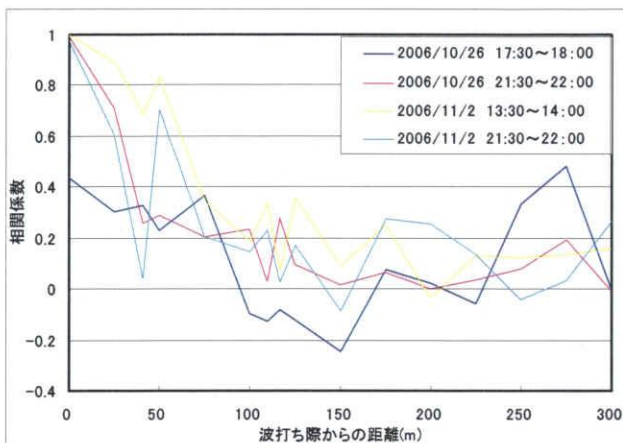


図 3-43 相関係数の変動

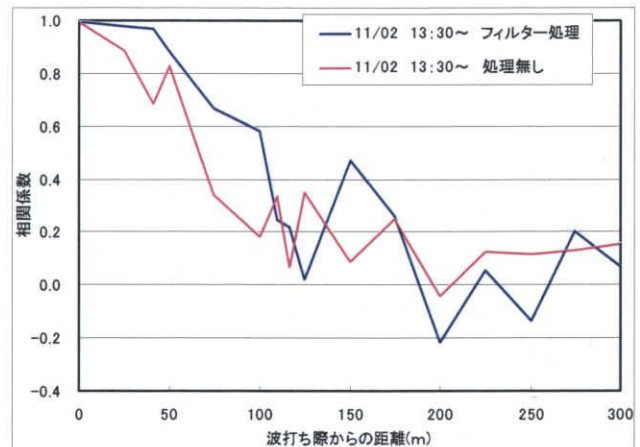


図 3-44 相関係数の変動

図 3-34 については相関係数が距離によって減衰しているのか判然としない結果となった。

クラスター分析樹形図からは測定地点に近いもの同士が同じクラスに分類されやすい傾向が見られた。

図 3-43 については、10/26 9:30 の測定において波打ち際での相関係数は 0.4 に近い値となっている。この結果は MP3 録音による分析結果とは大きく異なっている。このように DAT 録音による分析結果と MP3 録音による分析結果では異なる相関値を示す場合があるが、これは特に風が強かった場合においてそれぞれの録音データに異なった風切り音が記録されるためと考えられる。

図 3-44 から、フィルター処理を行うことによって相関係数に影響があることが読み取れる。

3-3-2 波音到達距離の算出結果と聴取記述との比較による考察

表 3-9 周波数変動による算出値と聴取記述との比較

測定日時	○	相関係数による算出	△
10/26 17:30～18:00	75	300	100
10/26 21:30～22:00	125	300	150
11/2 13:30～14:00	175	75	225
11/2 21:30～22:00	125	300	225

表 3-10 クラスタ分析による算出値と聴取記述との比較

測定日時	○	相関係数による算出	△
10/26 17:30～18:00	75	110	100
10/26 21:30～22:00	125	25	150
11/2 13:30～14:00	175	25	225
11/2 21:30～22:00	125	41	225

表 3-11 DAT を用いた相関係数による算出値と聴取記述との比較

測定日時	○	相関係数による算出	△
10/26 17:30～18:00	75	75	100
10/26 21:30～22:00	125	100	150
11/2 13:30～14:00	175	175	225
11/2 21:30～22:00	125	110	225

周波数変動に対する相関係数についての波音到達距離の算出値と聴取記述との比較においては両者はほとんど一致することがなく、近い値を示すこともできなかった。

クラスタ分析による波音到達距離の算出値と聴取記述との比較においても両者はほとんど一致することがなく、近い値を示すこともできなかった。

DAT を用いた音圧変動に対する相関係数による波音到達距離の算出値と聴取記述との比較においてはある程度の一致をみることができ、○と△の間に算出値が収まらなかった測定についても大きく離れた値とはならなかった。MP3 を用いた音圧変動に対する相関係数と比較すると、11/2 13:30 を除けばほぼ一致をみることが分かった。

フィルター処理の有無による比較では、両者は地点によっては相関値が大きく異なっていることが分かる。しかし相関係数から算出した波音の到達距離の今回の結果についてはどちらの場合も変わらず、フィルター処理の有効性については更なる分析が必要と思われる。

3-3-3 ゆらぎ特性からみた音環境性状

人に快適感を与える音として $1/f$ のゆらぎに近年注目が集まるようになってきている。これは 1 を周波数 f で割った値に反比例するゆらぎのことであり、メトロノームのような規則正しい音とホワイトノイズのようなランダムで規則性がない音との中間の音のことである。一般に $1/f^0$ のゆらぎを持つ音ほどでたらしめな変化をし、 $1/f^1$ のゆらぎを持つ音は心地よい変化を、 $1/f^2$ のゆらぎを持つ音は単調な音であるといわれる。自然音環境には $1/f$ のゆらぎを持つ音が多く、人工音環境では $1/f$ のゆらぎを持つ音が少ないことが分かっている[8]。人間の心臓の鼓動なども $1/f$ の揺らぎを持つことが分かっており、強弱の適度な変化をもつ $1/f$ のゆらぎが生理的に受け入れやすく、心地よさを感じさせるといわれている。 $1/f$ のゆらぎが人に与える快適感については科学的に解明されているわけではなく、根拠が曖昧ではあるが、音環境について分析を行う上での一つの手段としては有用なものであると考えられる。そこで $11/2$ の周波数分布の結果を用い、各測定地点におけるゆらぎ特性を分析した。図 3-46、図 3-48 にそれぞれの測定におけるゆらぎ特性値の分布を示す。ゆらぎ特性値が 0 に近い場合は $1/f^0$ のゆらぎを、 -10 に近い場合は $1/f^1$ のゆらぎを、 -20 に近い場合は $1/f^2$ のゆらぎを表している。

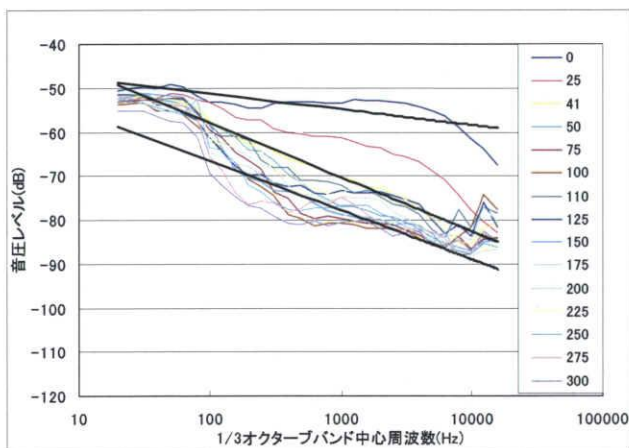


図 3-45 11/2 13:30 測定結果

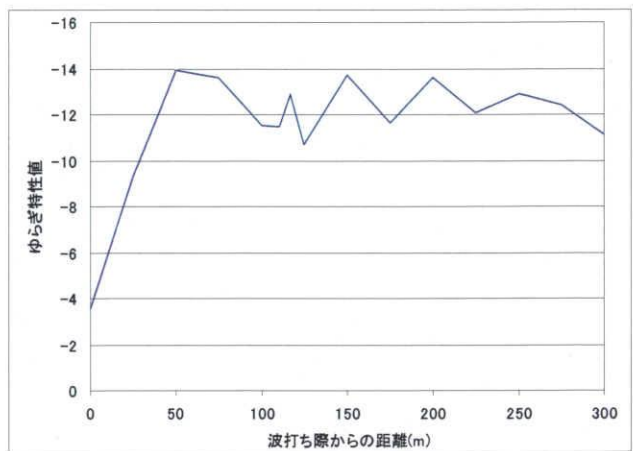


図 3-46 11/2 13:30 ゆらぎ特性値分布

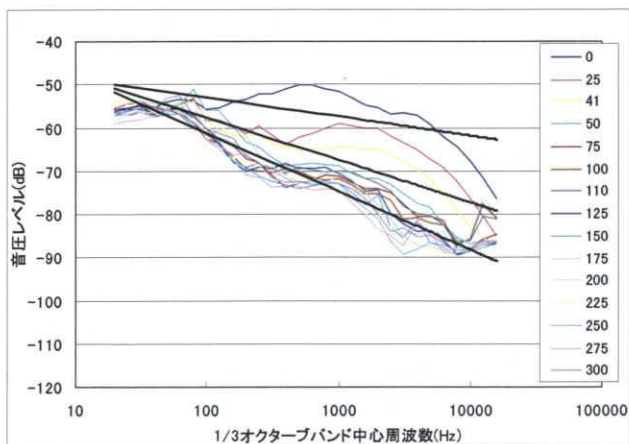


図 3-47 11/2 21:30 測定結果

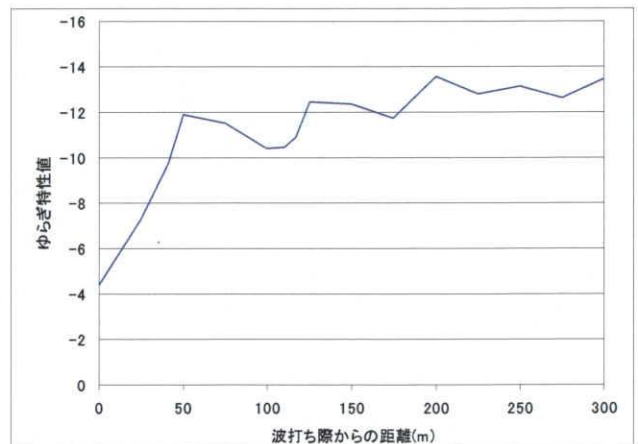


図 3-48 11/2 21:30 ゆらぎ特性値分布

図 3-46、図 3-48 からはゆらぎ特性値の分布について両測定で大きな違いはみられなかった。両測定とも波打ち際でのゆらぎ特性値は-4 前後であり、不規則な変化をもつ音環境であることが分かる。波打ち際から 25m から 50m で特性値が-10 前後となり、その後の地点ではやや特性値は上昇するものの全体としては心地よい変化をもつ $1/f^1$ のゆらぎの範囲に収まっていることが分かる。このことから三重大学キャンパス音環境は快適感を感じられる音環境になっているといえる。聴取記述結果からこの測定時には虫の音や野球の音などの活動音が聞かれていたことが分かっている。

3-4 小括

音圧変動についての相関分析結果から、波音到達距離の季節・時間帯による変化や平均および分布を把握することができた。度数分布図からは海岸道路がある波打ち際から約 100m 地点までよく波音が到達していることが分かった。

測定経路の違いによる波音到達距離の差異については経路による影響が大きいことが確認された。しかしながら特に経路 B において大きな風切り音が確認された測定があり、今後そのようなノイズの影響を受けていない測定を積み重ねてさらに分析を行う必要があると考える。

波音到達距離の算出結果と主観評価記述との比較からは、大体の一致をみることができた。今後ノイズなどの影響を排除した測定結果との比較を行い、より正確な波音到達距離の算出法を確立させる必要がある。

周波数分布による波音到達距離の算出結果は相関分析、クラスター分析ともに主観評価記述との一致をみることはできなかった。このことから波音到達距離の算出には現在のところ音圧変動についての相関分析が最も適当なものであることが確認された。

ゆらぎ特性値の分析から、波打ち際には $1/f$ のゆらぎではなく不規則な変化を示す $1/f^0$ のゆらぎを持つことが分かった。またキャンパス内では $1/f$ のゆらぎに近い特性値を示した。これは主観評価記述からも測定時に自然音、活動音の影響を受け、交通音や機械音の影響をほとんど受けていなかったことが理由として考えられる。

第4章 気象条件と波音の到達距離との関連性について

4-1 本章の目的

本分析の目的は風速、気温勾配、波打ち際での音圧レベル等の気象条件と波音到達距離との関連を明らかにすることである。風速や気温勾配は音の伝搬性状に大きく影響するためキャンパス内への波音の伝搬に大きく寄与すると考えられる。また波打ち際での音圧レベルが大きければ当然遠くまで波音が届くはずであると考えられる。そこで分析を行うことにより波音到達距離に対するこれらのパラメータの寄与の程度を把握することを目的としている。

大気中の音の伝搬速度は、媒質の密度に依存することから、音速は気温によって変化する。また、大気中に風が存在する場合には、音が伝搬する媒質が変動するために音速も変化する。そこで、大気中の風の乱流現象を層流的に扱うと、風が吹いている。場合の見かけの音速は、気温に依存する音速と風速とのベクトル合成値であると考えられる。したがって、音源と受音点を結ぶ方向に対して風の吹く方向がなす角を θ とすると、この場合の見かけの音速 c' は次式で表される。

$$c' = 331.5 + 0.61t + v \cos \theta$$

ただし、 t : 気温 [°C]、 $v \cos \theta$: ベクトル風速 [m/s]、 v : 風速 [m/s]

4-2 測定結果と気象条件との関連

4-2-1 分析の概要

以下に西向きベクトル風速、鉛直気温勾配、波打ち際音圧レベルの各パラメータと波音到達距離の分布を示す。分布の傾向から各パラメータと波音到達距離の関連について検討を行う。ここでは経路 A における測定結果を用いている。

4-2-2 風速と波音の到達距離との関連

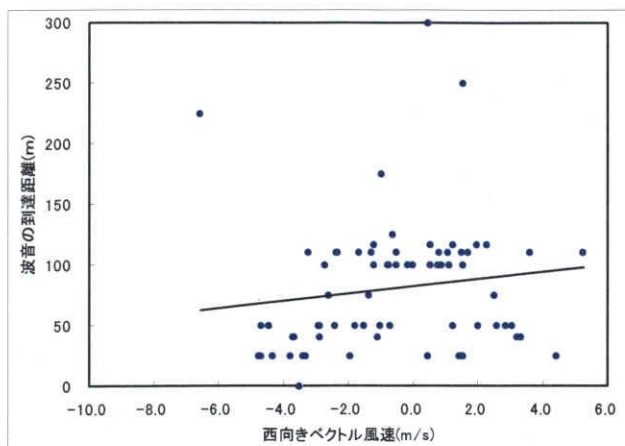


図 4-1 全期測定結果

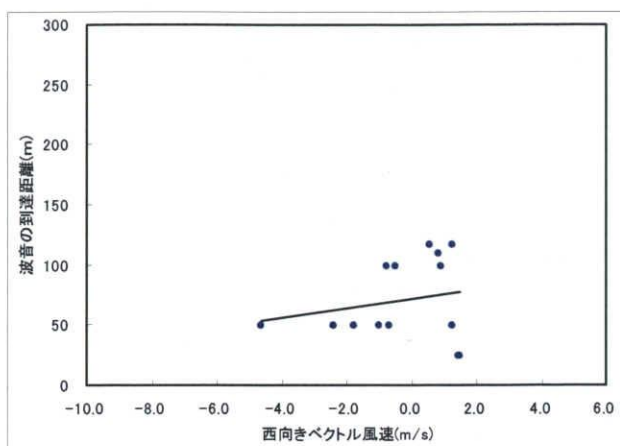


図 4-2 2005 年秋期測定結果

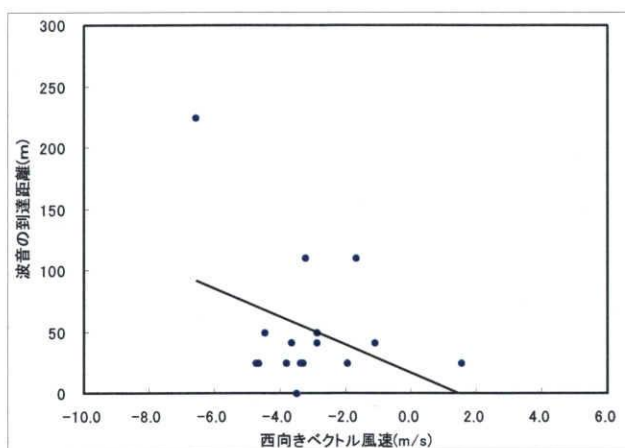


図 4-3 2006 年冬期測定結果

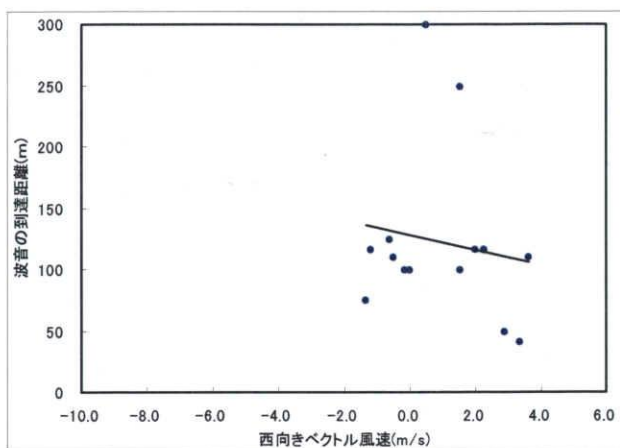


図 4-4 2006 年春期測定結果

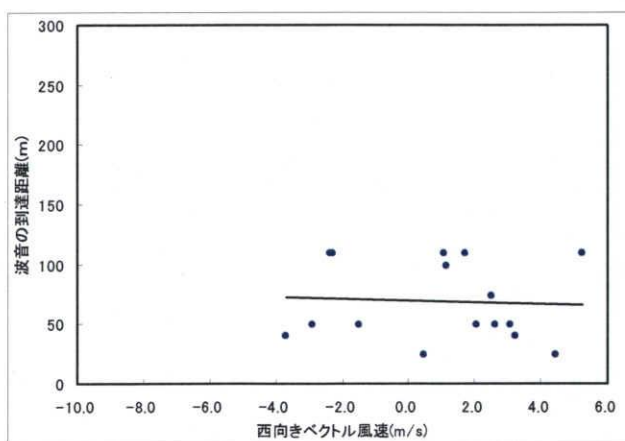


図 4-5 2006 年夏期測定結果

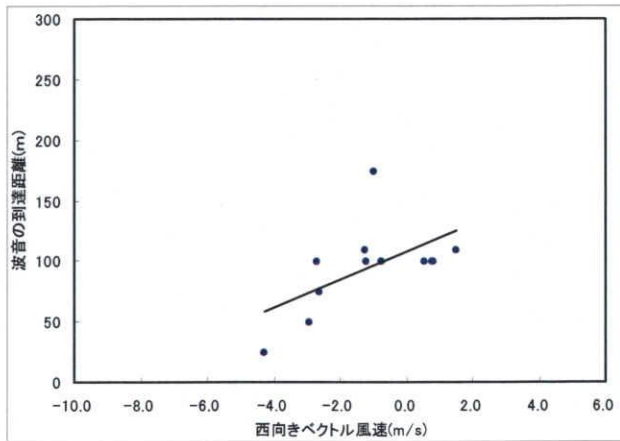


図 4-6 2006 年秋期測定結果

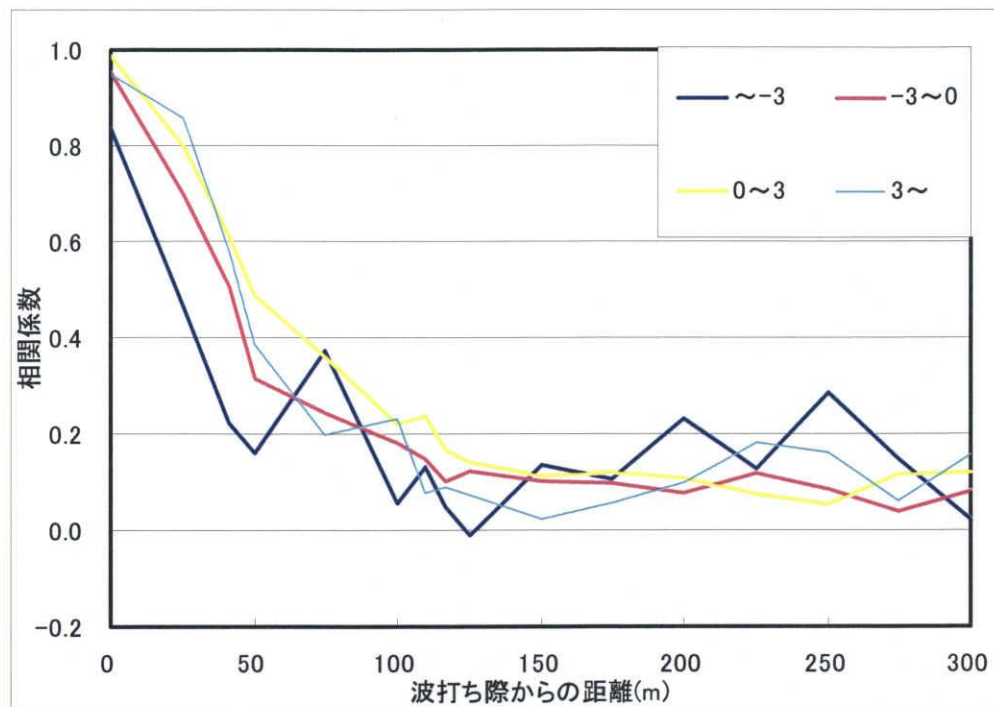


図 4-7 西向きベクトル風速別相関係数の平均

全期測定結果から海風(東側からの風)が強いほど波音の到達距離が長くなる傾向があることが読み取れる。

2005 年秋期測定結果からも同様の傾向が読み取れる。

2006 年冬期測定結果からは海風が強いほど波音の到達距離が短くなる傾向が読み取れる。これは外れ値の影響が大きいものと思われる。

2006 年春期測定結果からも海風が強いほど波音の到達距離が短くなる傾向が読み取れる。

2006 年夏期測定結果からは風速と波音到達距離の間にほとんど関連性は見られない。

2006 年秋期測定結果からは海風が強いほど波音の到達距離が長くなる傾向があることが読み取れる。

図 4-7 から、波打ち際から 50m 地点までは海風が強いほど相関係数が高い傾向にあるが、それ以降ではあまり風速による影響は見られず、250m 地点などでは陸風の場合に最も相関係数が高くなるという結果となった。

4-2-3 鉛直気温勾配と波音の到達距離との関連

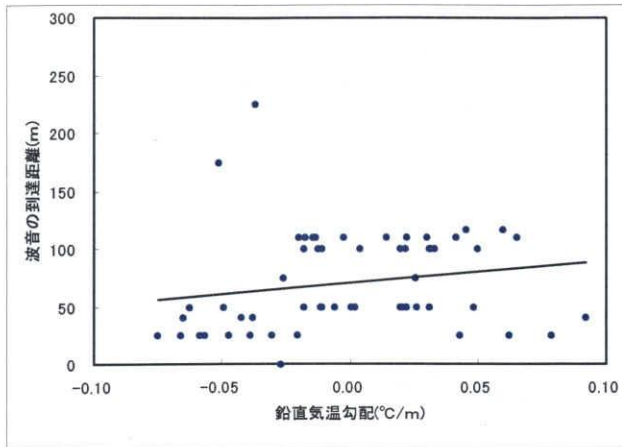


図 4-8 全期測定結果

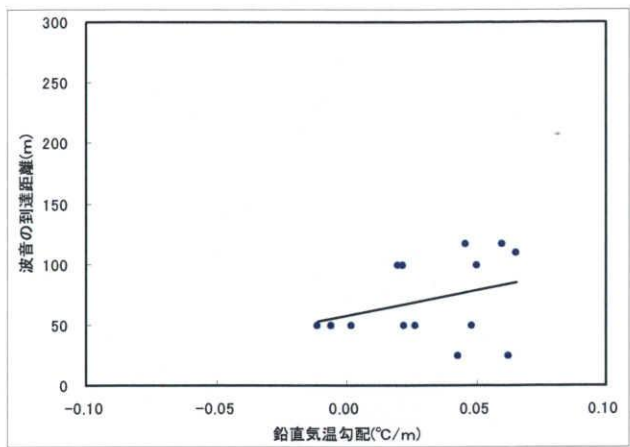


図 4-9 2005 年秋期測定結果

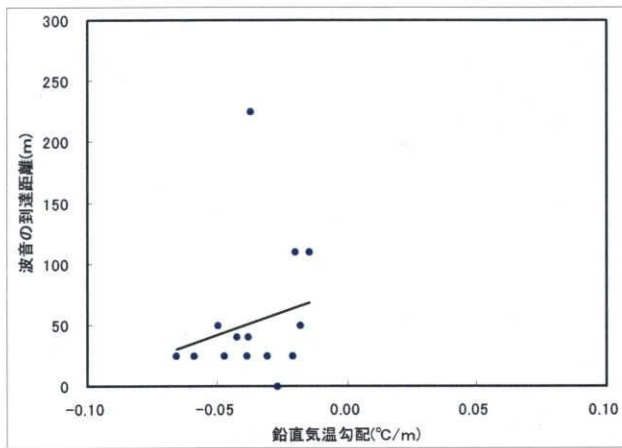


図 4-10 2006 年冬期測定結果



図 4-11 2006 年春期測定結果

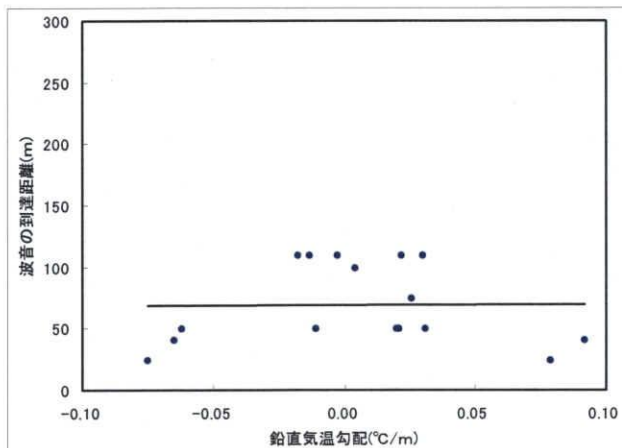


図 4-12 2006 年夏期測定結果

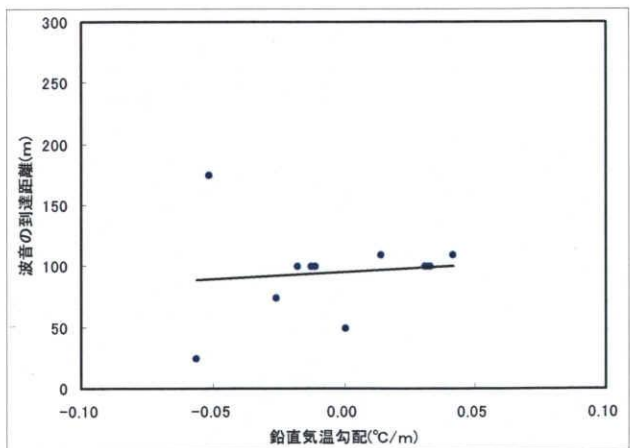


図 4-13 2006 年秋期測定結果

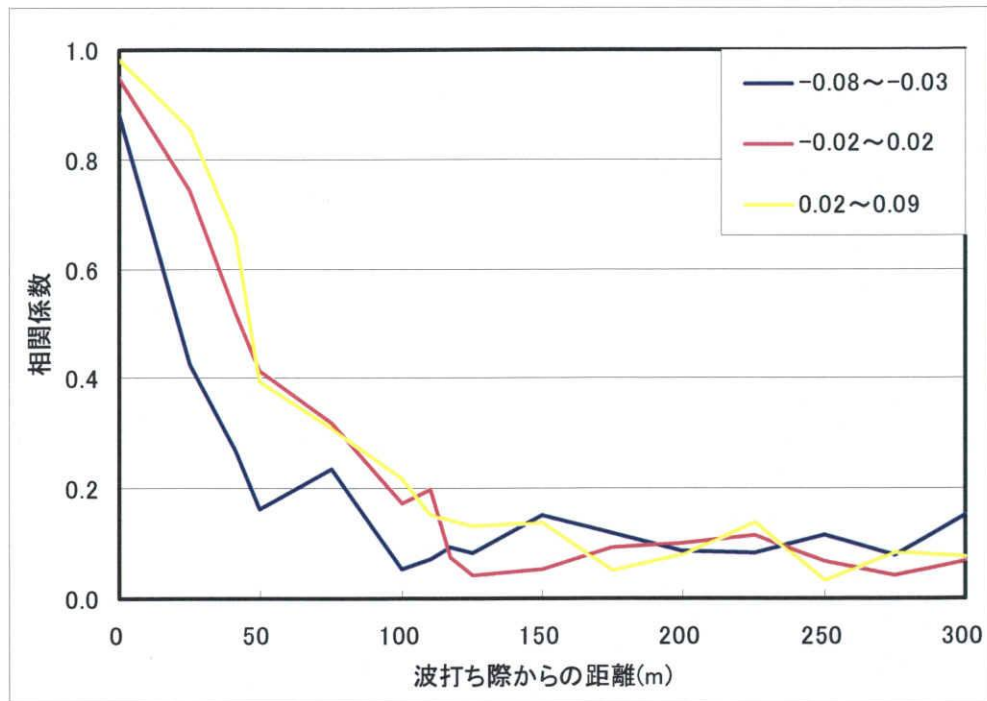


図 4-14 鉛直気温勾配別相関係数の平均

全期測定結果からは地表面近傍の気温が低く上空の気温が高い場合において若干ではあるが波音の到達距離が長くなる傾向が窺える。

2005 年秋期測定結果からも同様の傾向が読み取れる。

2006 年冬期測定結果についても同様である。また鉛直気温勾配のばらつきが他の季節と比較して小さいことも読み取れる。

2006 年春期測定結果は測定機器の不調のためデータが欠損している。

2006 年夏期測定結果からは鉛直気温勾配と波音到達距離の間にほとんど関連性は見られない。

2006 年秋期測定結果からは僅かに波音の到達距離が長くなる傾向が窺える。

図 4-14 から、上空の気温が高く地表面の気温が低い場合において、波打ち際から 110m 地点までの範囲で相関係数が高くなる傾向が読み取れる。それ以降では鉛直気温勾配による相関係数への影響はあまり見られない。

4-2-4 波打ち際音圧レベルと波音の到達距離との関連

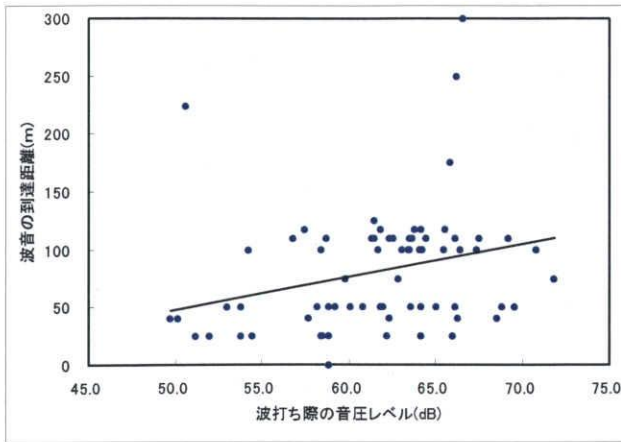


図 4-15 全期測定結果

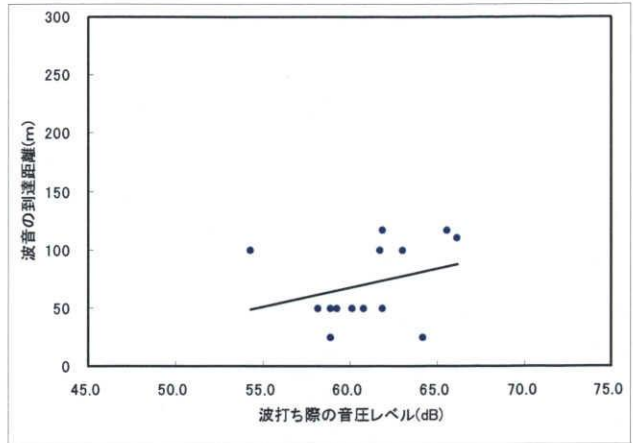


図 4-16 2005 年秋期測定結果

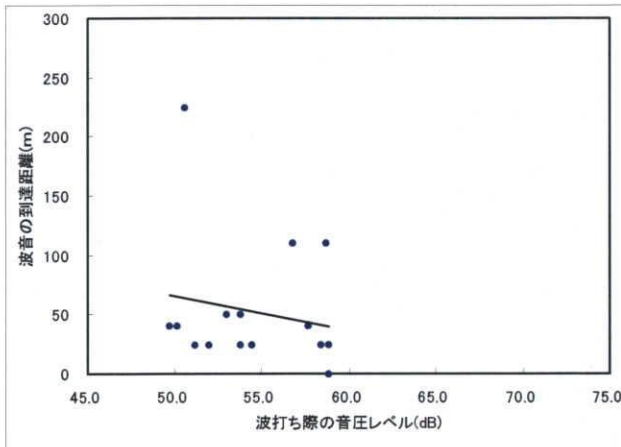


図 4-17 2006 年冬期測定結果

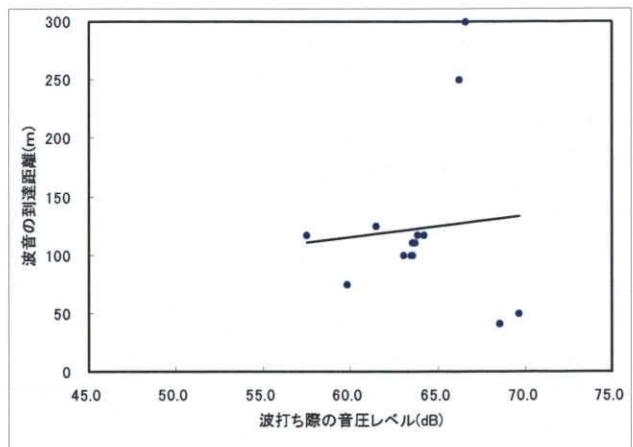


図 4-18 2006 年春期測定結果

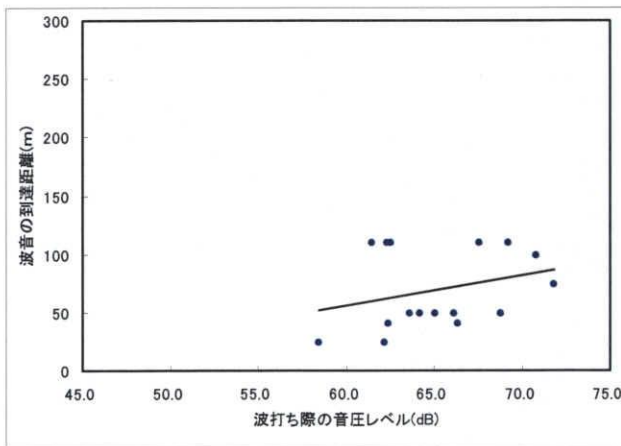


図 4-19 2006 年夏期測定結果

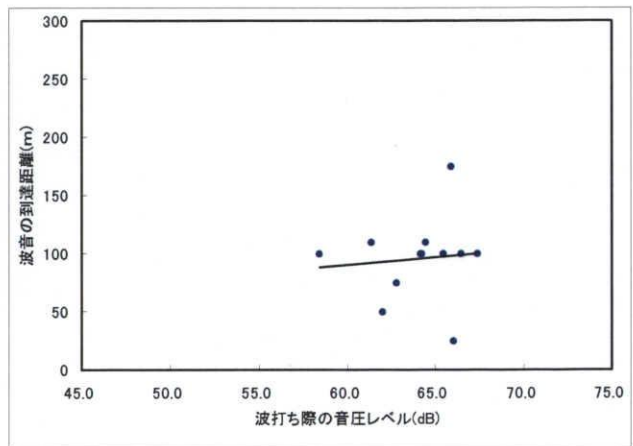


図 4-20 2006 年秋期測定結果

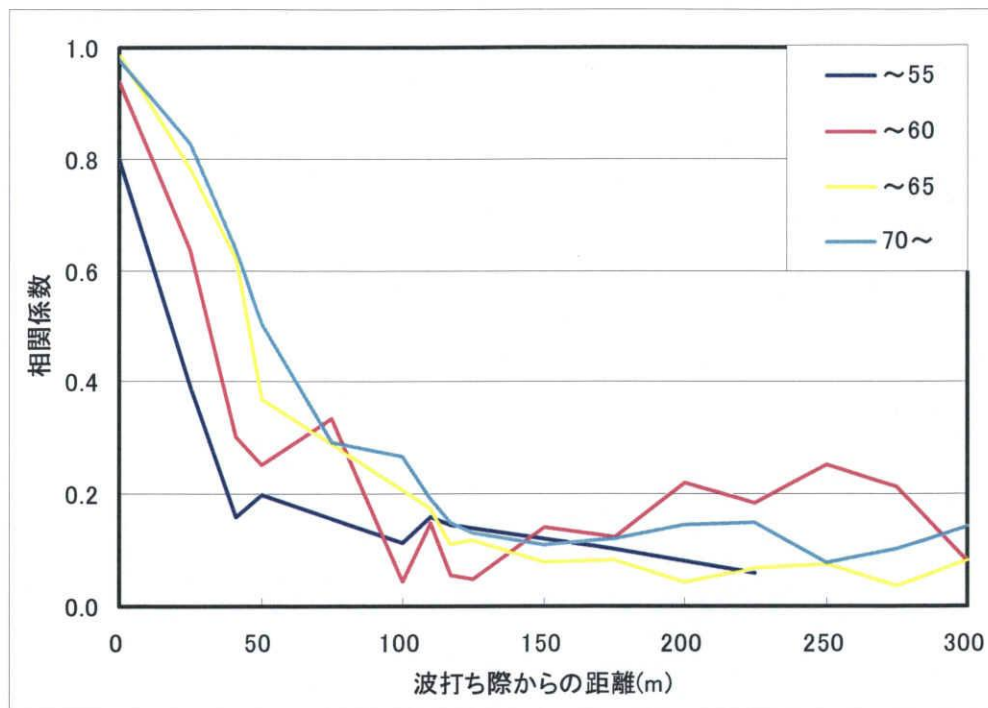


図 4-21 波打ち際音圧レベル別相関係数の平均

全期測定結果からは波打ち際での音圧レベルが高いと波音到達距離が長くなる傾向が窺える。

2005 年秋期測定結果からも同様の傾向が読み取れる。

2006 年冬期測定結果からはやや反対の傾向が見られる。また冬期は他の季節と比較して全体的に波打ち際音圧レベルが低い傾向がある。

2006 年春期測定結果からは波打ち際での音圧レベルが高いと波音到達距離が長くなる傾向が窺える。

2006 年夏期測定結果からも同様の傾向が読み取れる。

2006 年秋期測定結果ではやや波打ち際での音圧レベルが高いと波音到達距離が長くなる傾向が窺える。

波打ち際での音圧レベルが高いほうが当然遠くまで波音が届き、従って相関係数も高くなる傾向にあると考えられ、図 4-21 は実際にそのような結果になっている。しかし 175m あたりから 60dB 以下のカテゴリーが最も相関値が高くなっている。

4-3 重回帰分析を用いた分析

4-3-1 分析の概要

波音到達距離を目的変数とし、上下気温勾配と西向きベクトル風速、波打ち際音圧レベルを説明変数として重回帰分析を行った。分析には EXCEL 多変量解析 ver.5 を使用した。

4-3-2 分析の結果

以下に分析の結果を示す。2006/4 においては測定機器不調のため鉛直気温勾配については分析を行っていない。

表 4-1 2005/10 重回帰分析の結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
鉛直気温勾配(°C/m)	488.01	0.36	0.42	0.53	[]	0.65	750.76	0.20	0.31	×
西向きベクトル風速(m/s)	-3.00	-0.16	0.08	0.78	[]	-0.29	10.34	-0.09	0.21	
波打ち際音圧レベル(dB)	2.34	0.22	0.47	0.51	[]	0.69	3.41	0.21	0.31	
定数項	-88.42					-0.43	203.45			

表 4-2 2006/1 重回帰分析の結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
鉛直気温勾配(°C/m)	1671.22	0.46	3.04	0.11	[]	1.74	958.69	0.45	0.20	
西向きベクトル風速(m/s)	-15.37	-0.51	3.93	0.07	[]	-1.98	7.75	-0.50	-0.38	
波打ち際音圧レベル(dB)	-3.70	-0.22	0.80	0.39	[]	-0.89	4.14	-0.25	-0.18	
定数項	266.08					1.11	239.55			

表 4-3 2006/4 重回帰分析の結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
西向きベクトル風速(m/s)	-8.55	-0.21	0.41	0.53	[]	-0.64	13.28	-0.19	-0.14	
波打ち際音圧レベル(dB)	3.60	0.16	0.26	0.62	[]	0.51	6.99	0.15	0.09	
定数項	-99.12					-0.22	442.87			

表 4-4 2006/7 重回帰分析の結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
鉛直気温勾配(°C/m)	-62.34	-0.09	0.08	0.78	[]	-0.28	220.64	-0.08	0.01	×
西向きベクトル風速(m/s)	-2.14	-0.18	0.33	0.58	[]	-0.58	3.72	-0.16	-0.06	
波打ち際音圧レベル(dB)	3.52	0.39	1.64	0.22	[]	1.28	2.75	0.35	0.29	
定数項	-158.04					-0.89	178.24			

表 4-5 2006/10 重回帰分析の結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェック
鉛直気温勾配(°C/m)	-1405.44	-1.29	27.23	0.00	***	-5.22	269.35	-0.88	0.11	×
西向きベクトル風速(m/s)	37.47	1.85	45.55	0.00	***	6.75	5.55	0.92	0.57	
波打ち際音圧レベル(dB)	-8.15	-0.57	11.70	0.01	***	-3.42	2.38	-0.77	0.10	×
定数項	655.34					4.20	156.06			

表 4-6 全期重回帰分析の結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回 帰係数	F値	P値	判定	T値	標準誤差	偏相関	単相関	符号チェッ ク
鉛直気温勾配(°C/m)	170.69	0.16	0.92	0.34	[]	0.96	178.08	0.13	0.18	×
西向きベクトル風速(m/s)	-3.27	-0.20	1.16	0.29	[]	-1.08	3.04	-0.14	0.07	
波打ち際音圧レベル(dB)	2.32	0.29	3.17	0.08	[]	1.78	1.30	0.24	0.25	
定数項	-73.65					-0.91	80.92			

重回帰分析を行った結果、鉛直気温勾配、西向きベクトル風速、波打ち際音圧レベルのいずれのパラメータも 2006/10 の結果を除き有意な結果は得られなかった。

4-4 小括

全期の測定結果からは地表面近傍の気温が低く上空の気温が高い場合において波音の到達距離が長くなる傾向があること、西向きの海風が強いほど波音の到達距離が長くなる傾向があることが読み取れること、波打ち際での音圧レベルが高いほど到達距離が長くなる傾向があることが分かった。これらの結果は音の伝搬式を考えれば当然の結果といえるが、しかしながら波音到達距離を目的変数、上下気温勾配と東西方向正射影風速、波打ち際の音圧レベルを説明変数として重回帰分析を行った結果では、有意な結果は得られなかった。

第5章 計算による波音の伝搬予測

5-1 伝搬予測の目的

波音を海浜地域のサウンドマークとして活用することを考えた場合、様々な気象条件下における波音の伝搬状況を把握し、サウンドマークとして活用できるほど波音が到達しているかどうか検討を行うことが必要となる。シミュレーションを用いて伝搬状況を把握することができれば、検討を行う際の大きな助けとなることが期待できる。

音予測理論の考え方には、主に幾何音響学的手法と波動音響学的手法という2つの手法がある。

幾何音響学的手法とは、音の波動性を無視して扱うもので、直接音と反射音の間の干渉や、回折などの波動現象は起こらず、光と同じように直進および幾何音響学的反射のみで音の伝搬を記述するものである。したがって、幾何学によって得られた結果は、あくまでも近似的である。この幾何音響学的手法の中に音線法が含まれる。

波動音響学的手法とは、音の波動性を考慮して解析する方法であり、音を記述する微分方程式（波動方程式）を基礎として、これを解いて音場を求める方法である。波動学では、幾何音響学よりも精度の高い計算が可能であるが、多くの場合解析が難しくコンピュータによる数値計算を利用することになるが、計算量が膨大になるためあまり実用的でないことが多い。したがってこの研究では海岸近傍の測定点に到達する全ての音線の動きを計算する為、音線プログラムを用いてシミュレーションを行い、実際の測定内容と比較検討し、シミュレーションによる波音の伝搬状況の予測精度について検討を行う。

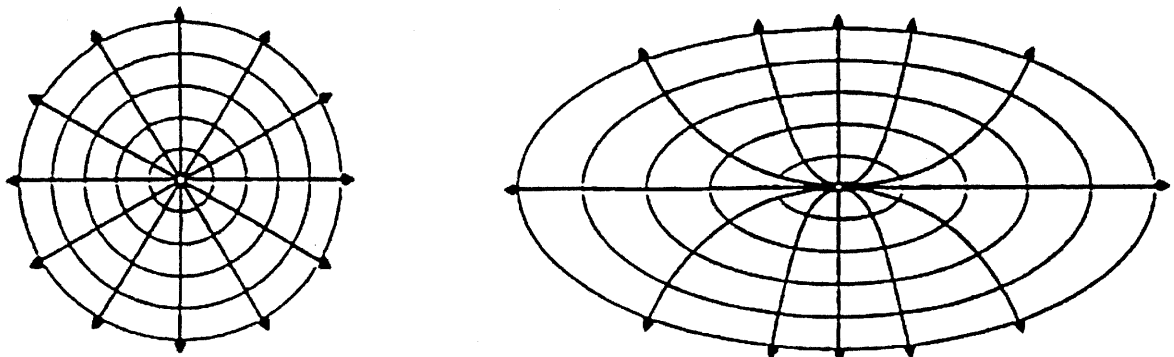
5-2 音線法による波音の伝搬予測について

5-2-1 計算の概要

音線とは、図5-1に示すように音源から放射された音波の等位相面である波面の垂線を連続的に結んでできる音の進行方向を表す線であり、エネルギーが流れていく方向と考えられる。また、音線の密度は音の集まりの程度を表しており、音線の間隔が狭い地点では、他の地点に比べて音圧レベルが高くなると予想される。

ただし、この音線理論では、音の波動性が考慮されておらず、周波数特性について検討することは難しい。また、日中のように温度分布が逆減状態である場合、あるいは、音の伝搬方向に対して逆向きに風が吹く場合には、音線が上向きに曲げられてシャドーゾーンが形成される。シャドーゾーンとは、音線の伝わらない領域であり、この内部では音線理論による検討は容易でない。

しかしながら、波動理論などで取り扱いが難しいとされている複雑な気象条件についても、音線理論により容易に音線を計算することができ、音の伝搬の様子を定性的に把握することができる。



(a) 空間内の媒質が等方性かつ均質な場合

(b) 空間内の媒質が一様でない場合

図 5-1 音の伝搬の様子

音線を計算する代表的な方法としては、Snellの屈折の法則のみによる方法、Rayleighによって拡張された屈折の法則を用いた方法、Thompsonにより完全流体の連続式、運動方程式及び断熱の状態方程式から求めた厳密な方法がある。これらの音線の計算方法を以下に紹介する。

1) Snellによる方法(C.M.Harris, Handbook of Noise Control. McGraw-Hill. New York, 1957)

音線を求める計算方法の中で、風のない静止した大気中における音線は、図 5-2に示されるように、二つの微分方程式(1)、(2)式とSnellの屈折の法則を用いた(3)式により求められる。

$$\frac{dx}{dt} = c \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$\frac{dz}{dt} = c \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$\frac{c}{\cos \theta} = \frac{c_0}{\cos \theta_0} = \text{const.} \quad (3)$$

ただし、 c :音速[m/s]

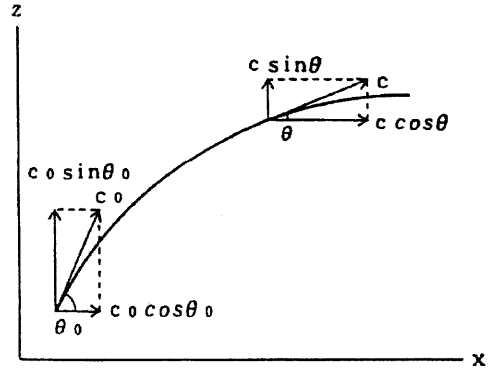


図 5-2 音線と音速

ここで、扇型の弧の長さ s 、半径 r 、中心角 θ の間には $r\theta = s$ となる関係があることから、この式の両辺を θ で微分すると(4)式が得られる。

$$r = \frac{ds}{d\theta} \quad (4)$$

また、音波の波面が微小時間に移動する微小距離を ds とすれば、 dx 、 dz はそれぞれ ds の水平方向の移動距離、鉛直方向の移動距離であり、三平方の定理より以下の式の関係が成り立つ。

$$ds^2 = dx^2 + dz^2 \quad (5)$$

$$\frac{ds}{dt} = c \quad (6)$$

また、(3)式の定数(const.)を k に置き換えて、 θ で両辺を微分し整理すると(7)式が得られる。

$$\frac{dc}{d\theta} = -k \cdot \sin \theta \quad (7)$$

一方、音速勾配 (dc/dz) は(8)式で表される。

$$\frac{dc}{dz} = \frac{dc}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dt}{dz} \quad (8)$$

そこで、(8)式に(2),(4),(6),(7)式を代入すれば、音線の半径 r は(9)式によって表される。

$$\frac{dc}{dz} = -\frac{c}{\cos\theta} \cdot \frac{1}{r}$$

$$\therefore r = -\frac{c}{\frac{dc}{dz} \cdot \cos\theta} \quad (9)$$

2) Rayleighによる方法 (Lord Rayleigh, The Theory of Sound, 1945)

成層状の大気中で、風が吹いている場合、 x 及び y 方向の風速成分をそれぞれ u, v とすれば、図 5-3 に示されるように、音線は以下の微分方程式とRayleighによって拡張された屈折の法則によって表される。

$$\frac{dx}{dt} = c \cdot \cos\theta + u \quad (10)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \quad (11)$$

$$\frac{dz}{dt} = c \cdot \sin\theta \quad (12)$$

$$\frac{c}{\cos\theta} + u = \frac{c_0}{\cos\theta_0} + u_0 = \text{const.} \quad (13)$$

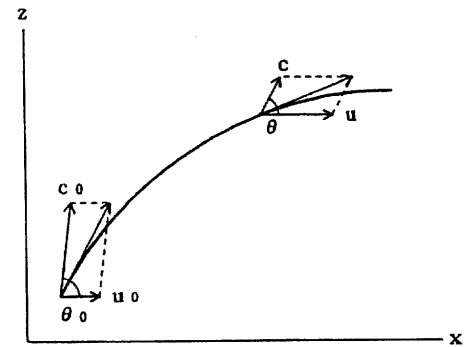


図 5-3 音線と音速及び風速

一般に、これまでに音線を計算して検討を行っている報告では、数10kmにおよぶ長距離伝搬の場合についても二次元で検討しているものが多い。ここで、音の伝搬方向のみから風が吹くものと仮定すれば、 $v=0$ となる。この場合について音線を考えると、音線の半径を求めることができる。まず、(13)式の右辺の定数を k と置き換えて、両辺に $\cos\theta$ を乗ずれば以下の式が得られる。

$$c + u \cdot \cos\theta = k \cdot \cos\theta \quad (14)$$

この式の両辺を θ について微分すれば、

$$\frac{dc}{d\theta} + \frac{du}{d\theta} \cdot \cos\theta = -u \cdot \sin\theta = -k \cdot \sin\theta$$

$$\frac{dc}{d\theta} + \frac{du}{d\theta} \cdot \cos\theta = (u - k) \cdot \sin\theta \quad (15)$$

また

$$\frac{dc}{dz} = \frac{dc}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dt}{dz} \quad (16)$$

$$\frac{du}{dz} = \frac{du}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dt}{dz} \quad (17)$$

ここで、(17)式の両辺に $\cos \theta$ を乗じて、(16),(17)式の両辺を加えると、

$$\frac{dc}{dz} + \frac{du}{dz} \cdot \cos \theta = \left(\frac{dc}{d\theta} + \frac{du}{d\theta} \cdot \cos \theta \right) \cdot \frac{d\theta}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dt}{dz} \quad (18)$$

また、(5),(10),(12)式より、

$$\left(\frac{ds}{dt} \right)^2 = \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2$$

$$\therefore \frac{ds}{dt} = \left(c^2 + 2c \cdot u \cdot \cos \theta + u^2 \right)^{1/2} \quad (19)$$

そこで、(18)式に、(4),(12),(15),(19)式を代入すれば、音線の半径 r は次式により求められる。

$$r = \frac{\left(c^2 + 2c \cdot u \cdot \cos \theta + u^2 \right)^{1/2}}{\left(\frac{dc}{dz} + \frac{du}{dz} \cdot \cos \theta \right) \cdot \cos \theta} \quad (20)$$

3) Thompsonによる方法 (R. J. Thompson. 'Ray Theory for an Inhomogeneous Moving Medium' J.A.S.A. 51, 1675-1682, 1972)

Thompsonは完全流体の連続の式、運動方程式及び断熱の状態方程式から、以下の微分方程式を示した。ただし、 c は音速、 u, v はそれぞれ風速の x, y 成分を表し、複合は正が上向きの音線、負は下向きの音線であることを示す。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{u(1 - uk_1 - vk_2) + c^2 k_1}{1 - uk_1 - vk_2} \quad (21)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{v(1 - uk_1 - vk_2) + c^2 k_2}{1 - uk_1 - vk_2} \quad (22)$$

$$\frac{dz}{dt} = \pm c \cdot \frac{\left[(1 - uk_1 - vk_2)^2 - c^2 (k_1^2 + k_2^2) \right]^{1/2}}{1 - uk_1 - vk_2} \quad (23)$$

ここで、音源の位置が $(0,0,z)$ で、 $u = u_0 > 0, v = 0$ となるように座標を設定し、初期放射角 θ, ϕ の音線(図 5-4)に対して k_1 及び k_2 は以下の式で表される。

$$k_1 = \frac{\sin \phi \cdot \cos \theta}{d} - \frac{u_0}{d^2 + u_0 \cdot \sin \phi \cdot \cos \theta} \quad (24)$$

$$k_2 = \frac{\sin \phi \cdot \cos \theta}{d} \quad (25)$$

ただし、 d は(26)式で表される。

$$d = (u_0^2 \cdot \sin^2 \phi \cdot \cos^2 \theta + c_0^2 - u_0^2)^{1/2} \quad (26)$$

したがって、大気中の温度勾配と風速勾配がともに一定ならば、Thompsonによる方法によっても音線を求めることができる。

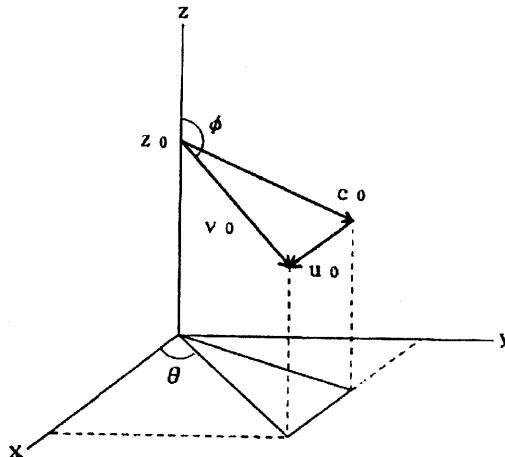


図 5-4 Thompson の理論による音線と座標

これら三つの方法を用いて求めた音線の結果を比較すると、水平距離 10km 程度にわたる伝搬においては、それぞれの音線はほぼ同様な結果が得られたと報告されている。そこで、本調査では、 y 方向への音線のずれも求めることができるという点、また音線に関する種々の報告で最も多く用いられている点などから、Rayleighによる方法を用いることにした。

5-2-2 音線計算プログラムの概要

音線の計算範囲は音源から水平方向に500m、鉛直方向に100mまでとし、音源の高さは0.1m、放射角度は0度から40度まで1度刻みとした。鉛直方向における境界層の高さは0m、1m、2m、5m、10m、15m、20m、50m、100m、200m、500mとした。また、海岸に近い場所についてより詳しく検討を行うため、水平方向に300m、鉛直方向に20m、放射角度は0度から10度まで0.1度刻みとした計算も行った。

計算プログラムを使用し音線をシュミレーションするには、温度、風速を与える必要がある。

大気圏は気温の高度分布により対流圏、成層圏、中間圏、及び熱圏に分けられる。対流圏とは、高度0kmから約11kmの層であり、地表と成層圏の間に位置する。地球大気の質量の約80%がこの層に存在している。成層圏とは高度約9～17kmから約50kmの層であり、対流圏と中間圏の間に位置する。中間層とは高度50kmから約80kmの層であり、成層圏と熱圏の間に位置する。熱圏とは高度約80kmから約500kmの層であり、この層より上空は外気圏と呼ばれる。

大気境界層は対流圏の中に含まれ、地球表面に接触する最も低い気層であり、地球表面の機械的及び熱的な影響を受ける。地球表面を吹く風は、土や砂、いろいろな植生、構造物、丘や山などのさまざまな表面の粗度要素によってかき乱される。また日射による地球表面の加熱で、それに接する気層により対流的な乱れが生じる。大気境界層の厚さは、原則的に一日を周期として変化する。一般に、夜間には薄く（例えば数10m）、日中には1000m以上にも厚くなる。

大気境界層のうち地球表面に接地するごく薄い気層は接地境界層と呼ばれ、大気境界層全体の厚さの

約1/10である。なお大気境界層の残りの部分は、一般にエクマン層あるいは外部境界層と呼ばれる。上記の通り、接地境界層の厚さは大気境界層の厚さに依存し、100m以内であることが多いことから、本研究では接地境界層の厚さを一律20m、50m、100mと仮定した。

<温度勾配の定義>

対流圏は一般に6℃/kmの気温逓減率により特徴付けられる。接地境界層は、対流圏に含まれるが、地表面の影響を大きく受ける。その為、温度勾配を三重大学工学部建築棟1階と4階屋上(高度差約16m)で測定された外気の温度差から算出し、上空の気温が高い場合を正とした。

また、接地境界層の高さまで上記の温度勾配を用い、それ以降の高さは6℃/1kmの気温逓減率を用い上空での気温を仮定した。図3-1に、音線プログラムに入力する境界層を0m、1m、2m、5m、10m、15m、20m、50m、100m、200m、500m、地表面の温度を20℃、接地境界層高さを100m、接地境界内の温度勾配を0.02℃/mとした場合の例を示す。

表5-1 地表面の温度20℃、接地境界層高さ100m、接地境界内の温度勾配0.02℃/mの例

境界層高さ (m)	0	1	2	5	10	15	20	50	100	200	500
境界層高さ における気温(℃)	20	20.02	20.04	20.1	20.2	20.3	20.4	21	22	21.4	19.6

<風速の理論と定義>

風速を規定するためには、平均風速に加えて風の変動特性に関する情報が必要となる。風速は周辺の地表粗度や高度によって変化する。上空での風速は地表粗度によらず一定であるが、地表に近づくにつれて、地表粗度の影響を受け風速は減少する。このような風速の高度による変化特性は、一般にべき法則、対数法則のどちらかで表される。対数法則は理論的に導かれたものであるが、対数の取扱いが実務的ではないということもあり、より簡便なべき法則が用いられることが多い。日本において構造物の耐風設計では、べき法則が一般に用いられている。

本研究では、べき法則を使い風速を求めた。式(27)にべき法則の一般式を示す。

$$V(Z1) = \left(\frac{Z1}{Z2}\right)^{\frac{1}{\alpha}} V(Z2) \quad (27)$$

ここで、 α はべき指数で高度による風速の変化率、 $V(Z1)$ は高度 $Z1$ (m) での風速、 $V(Z2)$ は高度 $Z2$ (m) での風速を表す。

α は上記の式に、年間平均風速 $V(Z1)$ 、 $V(Z2)$ を代入することで求めることができる。本研究で年間平均風速 $V(Z1)$ 、 $V(Z2)$ は三重大学敷地内で計測している高さ17mと4mの風速データを用いた。

5-3 距離減衰による波音の予想到達距離の計算概要

音源から離れるにつれて音のエネルギーは拡散する。したがって音源が受音点から離れるにつれ音圧レベルが逓減する。しかし音線法では距離減衰を考慮していないため、波音を線音源とみなし反射面のない半自由空間で音圧レベルが逓減すると仮定した距離減衰モデルにより波音の到達距離を予測した。

波音の距離減衰は式(28)で表すことができる。

$$SPL = PWL - 10 \log_{10} r - 8 \quad (28)$$

ここで、 r は波音源からの距離、 SPL は波音源からの距離 r での音圧レベル(dB)、 PWL は波音源の出力レベル(dB)を表す。実際は、音源から約5m離れた場所で測定を行ったため、式(28)を使い、波音源の出力レベルを推定した。

また、過去の計測から海岸近傍の暗騒音レベルが約45(dB)であったため、人間の聴覚で聞くことができる音圧レベルを約45dBと推定し、式(28)に $SPL=45$ を代入し、距離減衰による波音の予想到達距離を求めた。

なお、(28)を変形した波音の予想到達距離を求める一般式を式(29)に示す。

$$r = 10^{(PWL-53)/10} \quad (29)$$

5-4 実測結果との比較

以下に測定により得られた波音の到達距離と距離減衰モデルによる波音の予想到達距離、音線のモデルを示す。2006秋期については主観評価による波音の到達距離を併せて示す。なお、春期の測定については鉛直気温勾配が得られなかったため、比較は行わなかった。

<2005 秋期>

2005年10月28日 9:30～10:00

表5-2 気象条件と結果

測定日時	気温(°C)	接地境界層内温度勾配(°C/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル(dB)	距離減衰による波音の予想到達距離(m)	相関係数による波音の到達距離(m)
2005/10/28 9:30～10:00	15.7	0.078	東南東	1.45	58.9	3.9	25

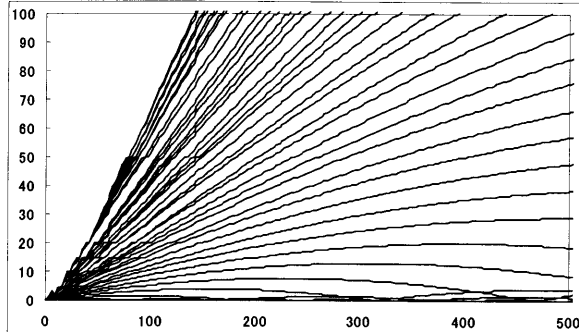


図5-5 0～40度 1度刻み 接地境界層100m

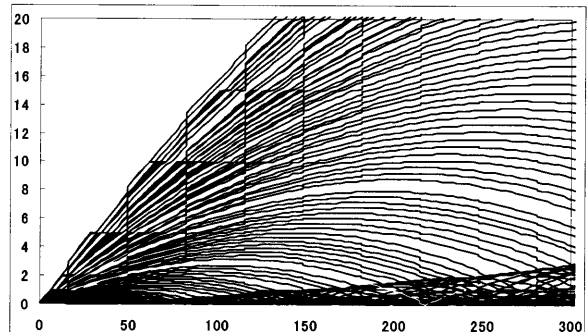


図5-6 0～10度 0.1度刻み 接地境界層100m

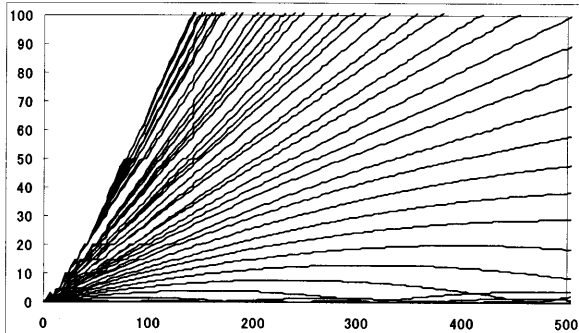


図5-7 0～40度 1度刻み 接地境界層50m

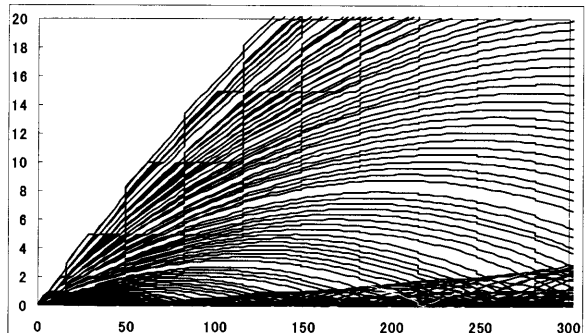


図5-8 0～10度 0.1度刻み 接地境界層50m

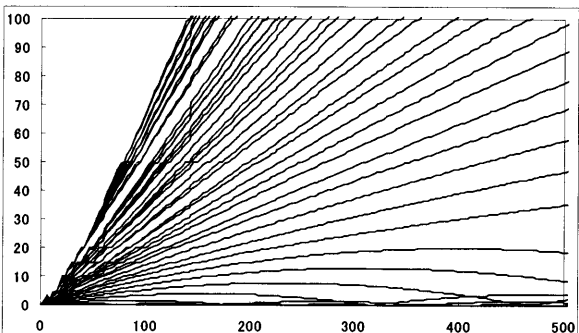


図5-9 0～40度 1度刻み 接地境界層20m

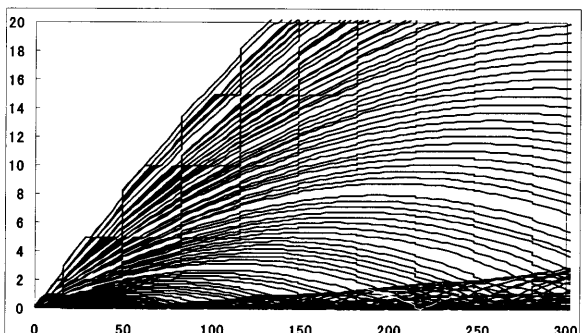


図5-10 0～10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が正、西向きベクトル風速が正となり、音線モデルからも波音が到達しやすい状況にあると考えられる。しかしながら相関係数による波音到達距離の算出値は25mとなっている。

2005年10月28日 21:30～22:00

表5-3 気象条件と結果

測定日時	気温(℃)	接地境界層内温度勾配(℃/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル(dB)	距離減衰による波音の予想到達距離(m)	相関係数による波音の到達距離(m)
2005/10/28 21:30～22:00	17.3	0.033	西	-1.00	61.9	7.7	50

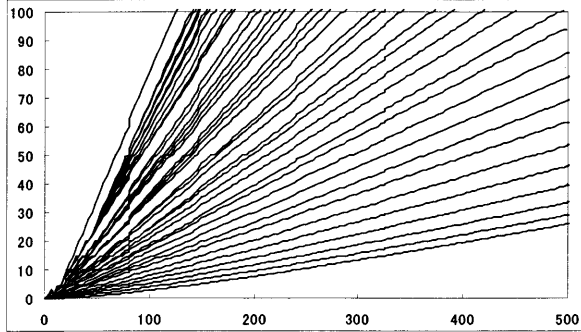


図5-11 0～40度 1度刻み 接地境界層100m

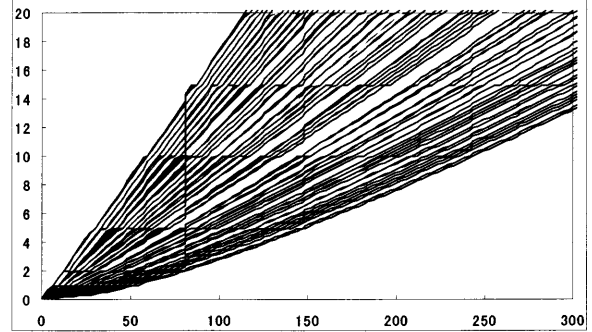


図5-12 0～10度 0.1度刻み 接地境界層100m

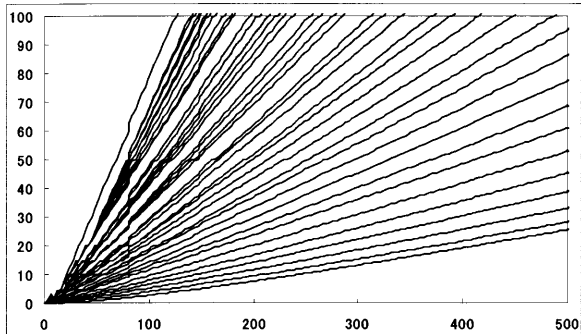


図5-13 0～40度 1度刻み 接地境界層50m

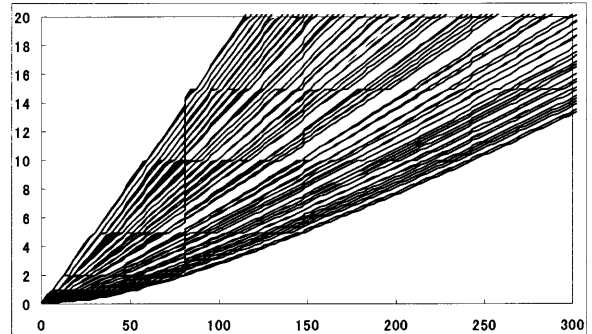


図5-14 0～10度 0.1度刻み 接地境界層50m

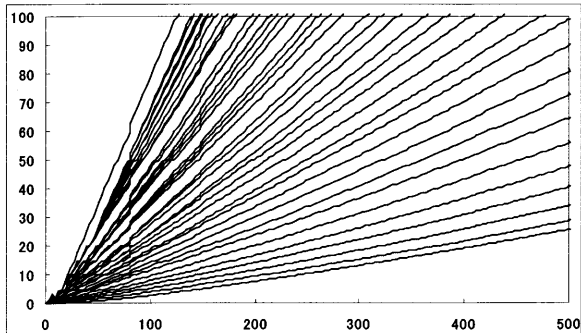


図5-15 0～40度 1度刻み 接地境界層20m

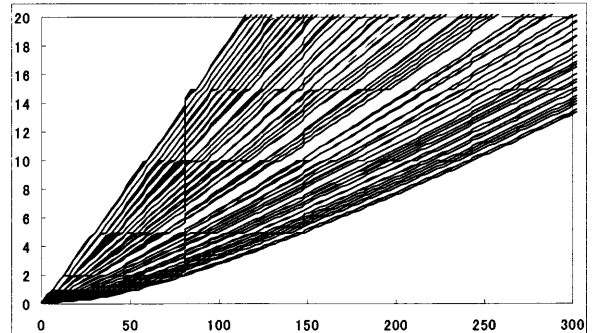


図5-16 0～10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が正、西向きベクトル風速が負となり、音線モデルは波音が到達しにくいシャドーゾーンが形成されている。相関係数による波音到達距離の算出値は50mとなっている。

<2006 冬期>

2006年1月27日 9:30~10:00

表5-4 気象条件と結果

測定日時	気温 (°C)	接地境界層内温度勾配 (°C/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル (dB)	距離減衰による波音の予想到達距離 (m)	相関係数による波音の到達距離 (m)
2006/1/27 9:30~10:00	4.8	-0.026	東	1.57	54.5	1.4	25

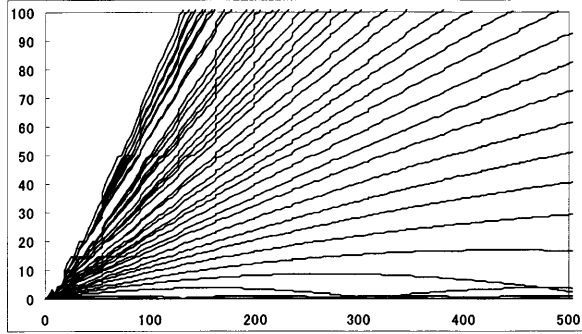


図5-17 0~40度 1度刻み 接地境界層100m

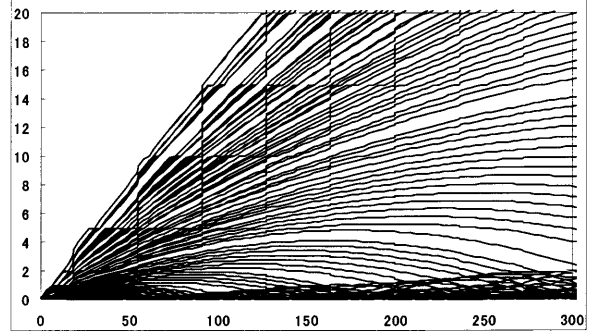


図5-18 0~10度 0.1度刻み 接地境界層100m

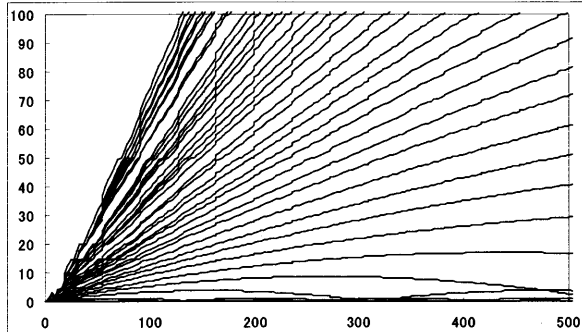


図5-19 0~40度 1度刻み 接地境界層50m

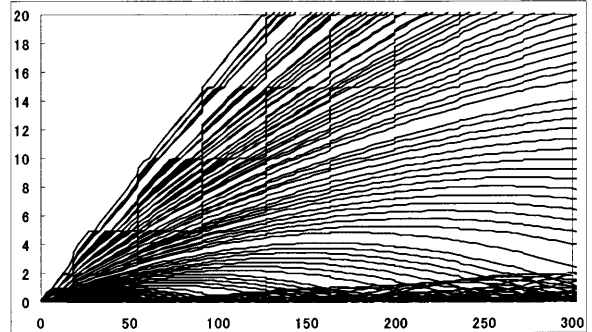


図5-20 0~10度 0.1度刻み 接地境界層50m

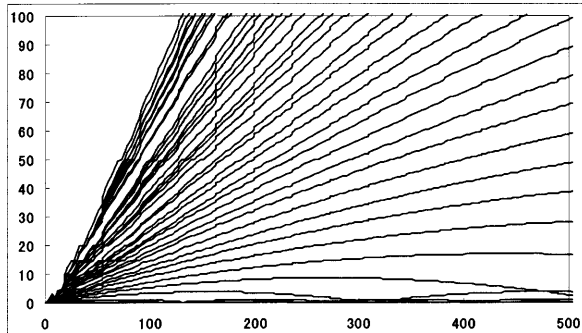


図5-21 0~40度 1度刻み 接地境界層20m

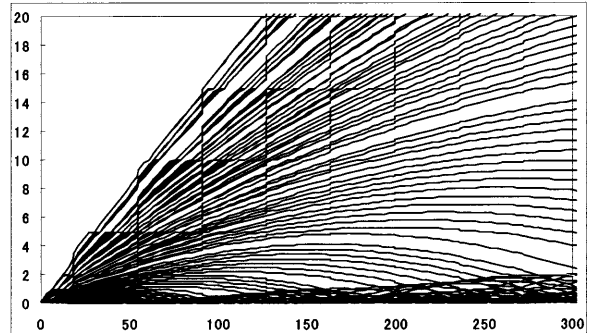


図5-22 0~10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が負、西向きベクトル風速が正となり、音線モデルは波音が到達しやすい状況にある。しかしながら相関係数による波音到達距離の算出値は 25m となっている。

2006年1月27日 23:00～23:30

表5-5 気象条件と結果

測定日時	気温 (°C)	接地境界層内温度勾配 (°C/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル (dB)	距離減衰による波音の予想到達距離 (m)	相関係数による波音の到達距離 (m)
2006/1/27 23:00～23:30	5.6	-0.026	西北西	-4.63	53.8	1.2	25

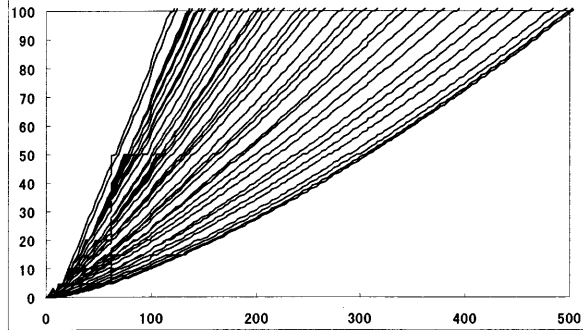


図5-23 0～40度 1度刻み 接地境界層100m

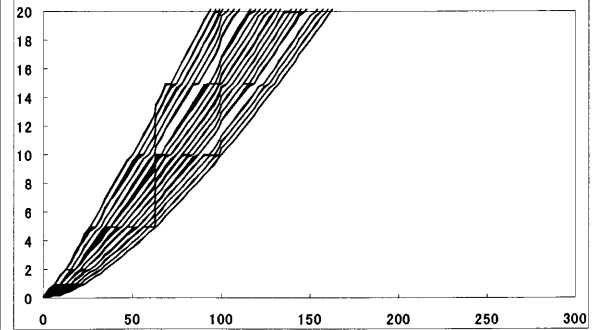


図5-24 0～10度 0.1度刻み 接地境界層100m

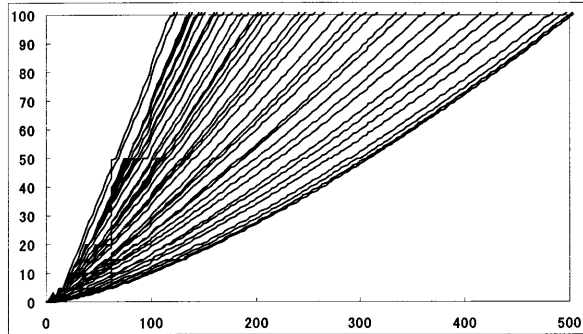


図5-25 0～40度 1度刻み 接地境界層50m

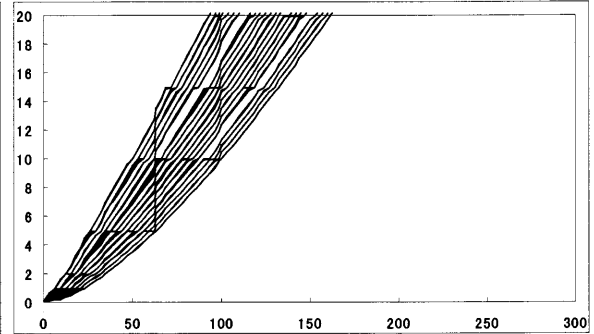


図5-26 0～10度 0.1度刻み 接地境界層50m

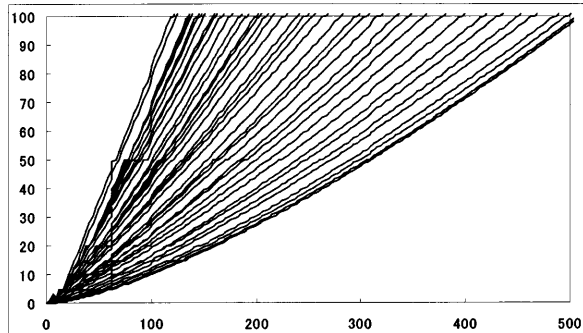


図5-27 0～40度 1度刻み 接地境界層20m

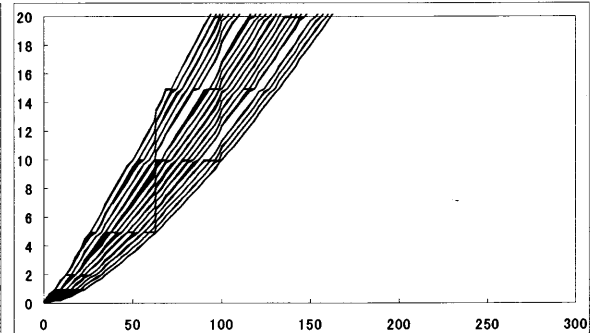


図5-28 0～10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が負、西向きベクトル風速が負となり、音線モデルは波音が到達しにくいシャドーズーンが形成されている。しかしながら相関係数による波音到達距離の算出値は25mとなっている。

<2006 夏期>

2006年8月2日 13:30~14:00

表5-6 気象条件と結果

測定日時	気温 (°C)	接地境界層内温度勾配 (°C/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル (dB)	距離減衰による波音の予想到達距離 (m)	相関係数による波音の到達距離 (m)
2006/8/2 13:30~14:00	27.7	0.028	東南東	5.25	69.3	42.2	110

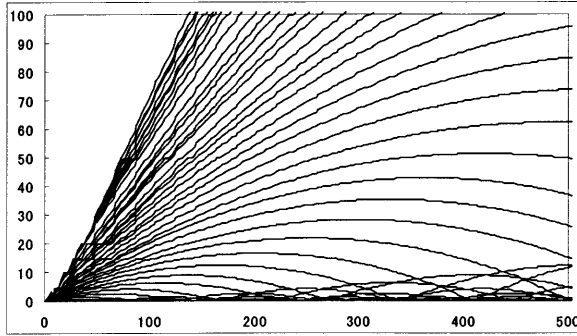


図5-29 0~40度 1度刻み 接地境界層100m

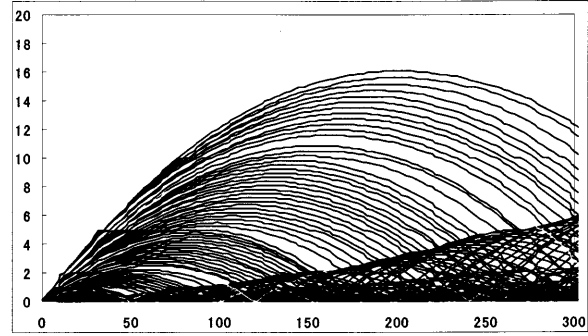


図5-30 0~10度 0.1度刻み 接地境界層100m

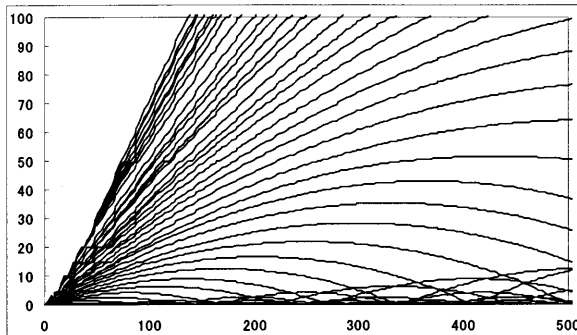


図5-31 0~40度 1度刻み 接地境界層50m

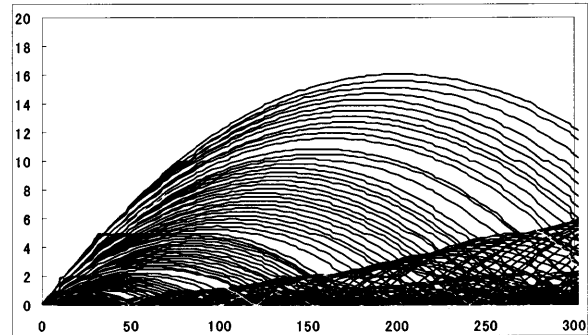


図5-32 0~10度 0.1度刻み 接地境界層50m

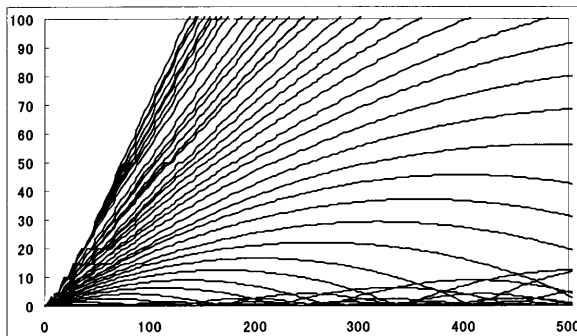


図5-33 0~40度 1度刻み 接地境界層20m

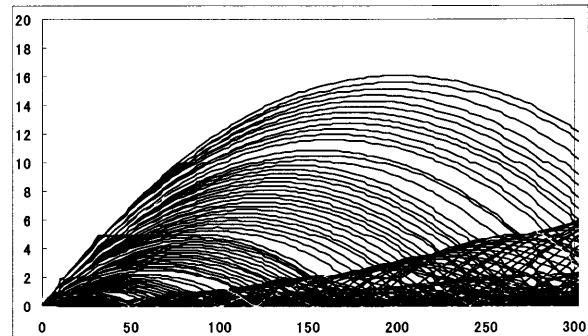


図5-34 0~10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が正、西向きベクトル風速が正となり、音線モデルからも波音が到達しやすい状況にあると考えられる。相関係数による波音到達距離の算出値は110mとなっている。

2006年8月2日 17:30~18:00

表5-7 気象条件と結果

測定日時	気温(°C)	接地境界層内温度勾配(°C/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル(dB)	距離減衰による波音の予想到達距離(m)	相関係数による波音の到達距離(m)
2006/8/2 17:30~18:00	26.7	0.032	南東	2.53	71.9	76.9	75

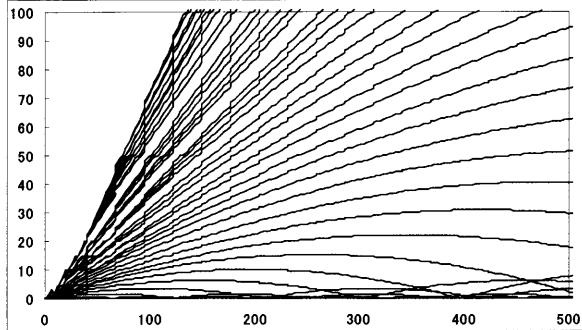


図5-35 0~40度 1度刻み 接地境界層100m

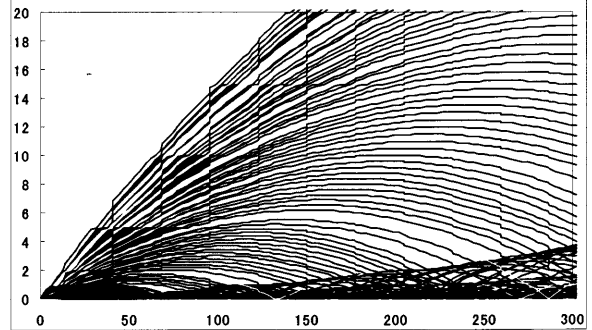


図5-36 0~10度 0.1度刻み 接地境界層100m

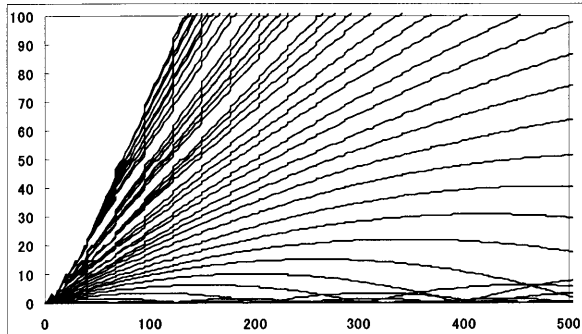


図5-37 0~40度 1度刻み 接地境界層50m

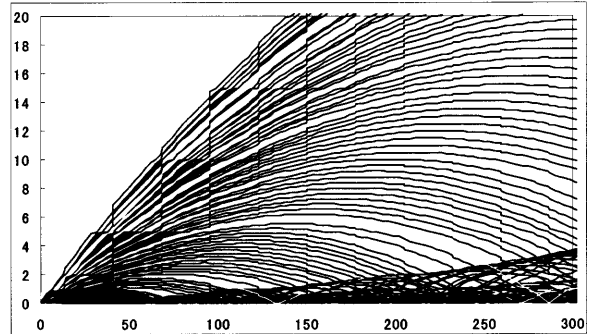


図5-38 0~10度 0.1度刻み 接地境界層50m

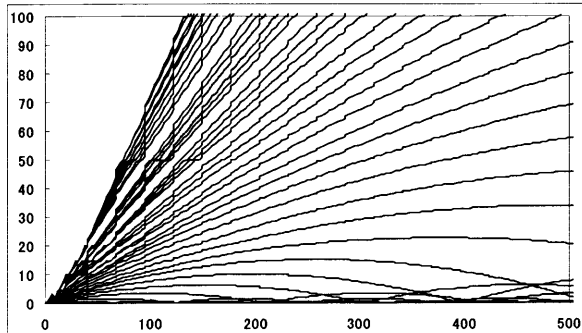


図5-39 0~40度 1度刻み 接地境界層20m

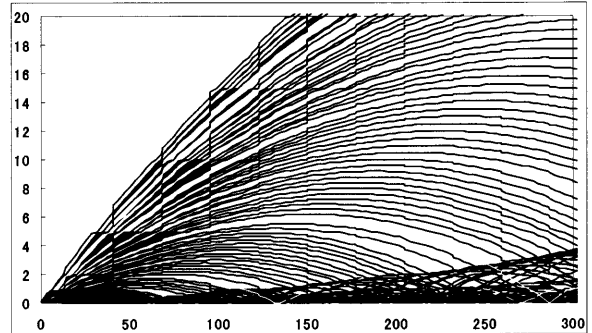


図5-40 0~10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が正、西向きベクトル風速が正となり、音線モデルからも波音が到達しやすい状況にあると考えられる。相関係数による波音到達距離の算出値は75mとなっている。

<2006 秋期>

2006年10月26日 17:30~18:00

表5-8 気象条件と結果

測定日時	気温(°C)	接地境界層内温度勾配(°C/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル(dB)	距離減衰による波音の予想到達距離(m)	相関係数による波音の到達距離(m)	聴感による波音の到達距離(m)
2006/10/26 17:30~18:00	20.3	-0.022	西北西	-2.68	58.4	3.5	100	75

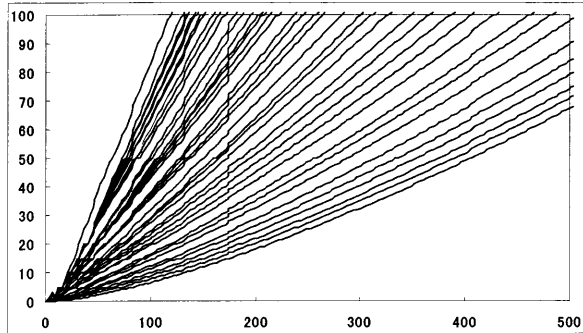


図5-41 0~40度 1度刻み 接地境界層100m

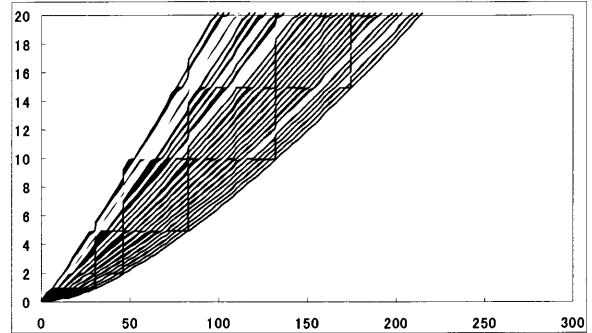


図5-42 0~10度 0.1度刻み 接地境界層100m

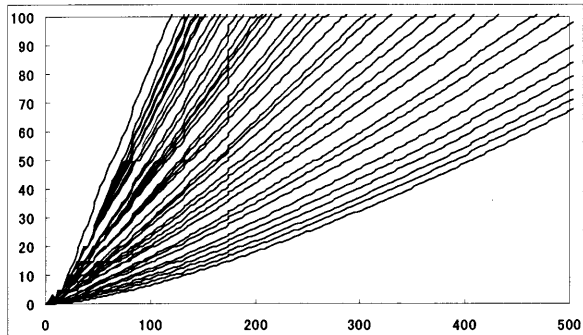


図5-43 0~40度 1度刻み 接地境界層50m

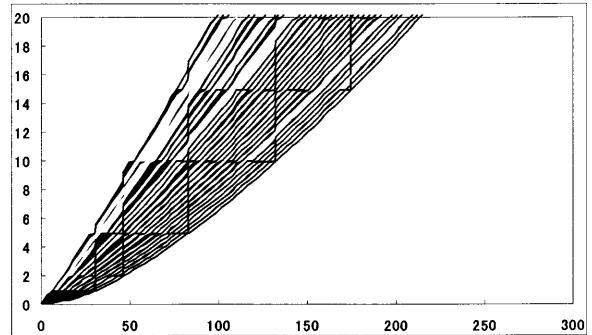


図5-44 0~10度 0.1度刻み 接地境界層50m

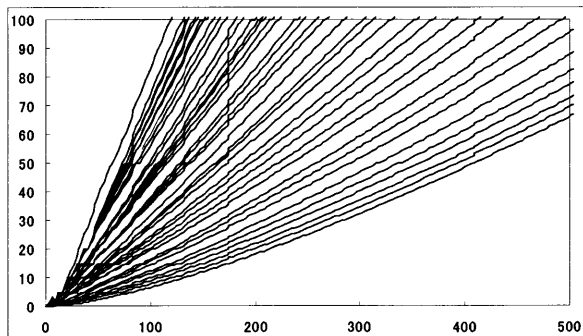


図5-45 0~40度 1度刻み 接地境界層20m

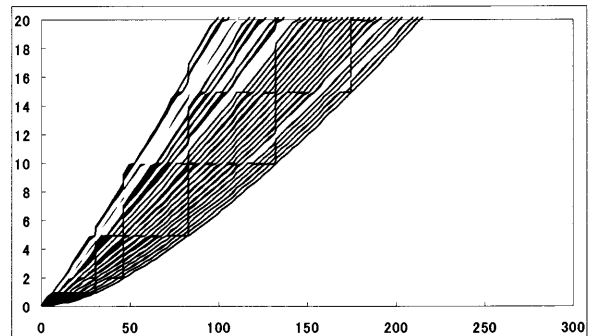


図5-46 0~10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が負、西向きベクトル風速が負となり、音線モデルは波音が到達しにくいシャドーズーンが形成されている。相関係数による波音到達距離の算出値は75mとなっている。

2006年10月26日 21:30～22:00

表5-9 気象条件と結果

測定日時	気温 (°C)	接地境界層内温度勾配 (°C/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル (dB)	距離減衰による波音の予想到達距離 (m)	相関係数による波音の到達距離 (m)	聴感による波音の到達距離 (m)
2006/10/26 21:30～22:00	17.3	0.018	西南西	-1.25	61.4	6.9	110	125

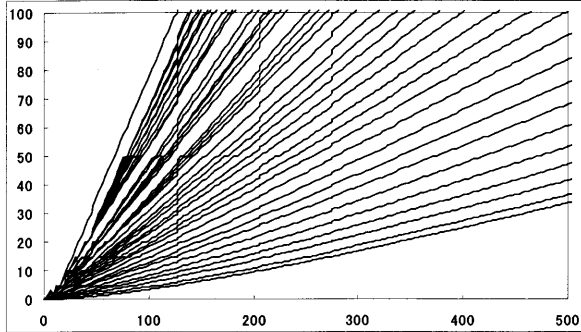


図5-47 0～40度 1度刻み 接地境界層100m

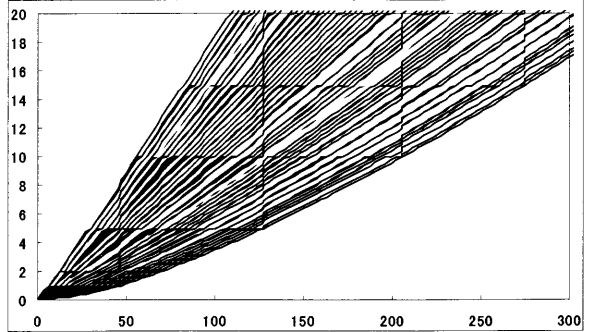


図5-48 0～10度 0.1度刻み 接地境界層100m

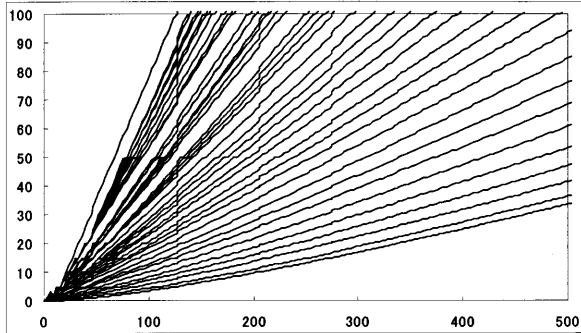


図5-49 0～40度 1度刻み 接地境界層50m

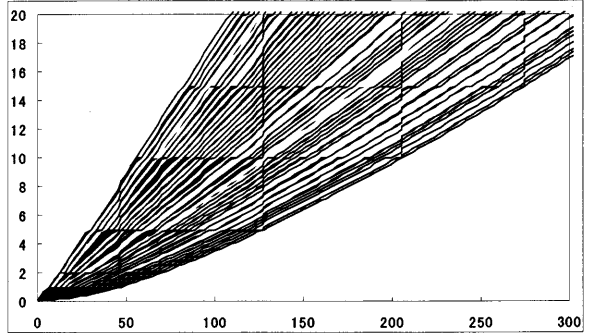


図5-50 0～10度 0.1度刻み 接地境界層50m

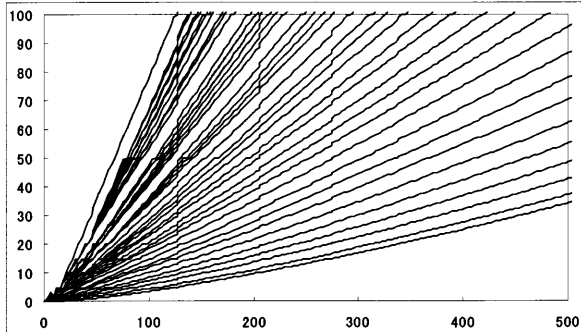


図5-51 0～40度 1度刻み 接地境界層20m

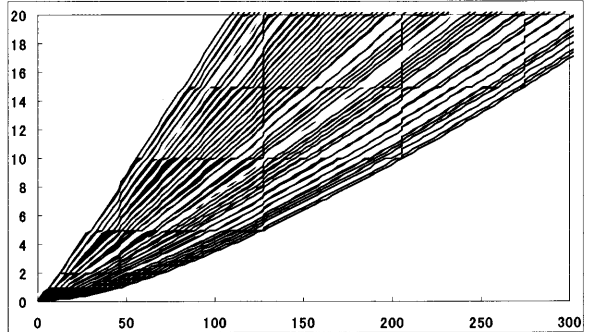


図5-52 0～10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が正、西向きベクトル風速が負となり、音線モデルは波音が到達しにくいシャドーゾーンが形成されている。しかしながら相関係数による波音到達距離の算出値は125mとなっている。

2006年11月2日 13:30～14:00

表5-10 気象条件と結果

測定日時	気温 (°C)	接地境界層内温度勾配 (°C/m)	風向	西向きベクトル風速 (m/s)	波打ち際音圧レベル (dB)	距離減衰による波音の予想到達距離 (m)	相関係数による波音の到達距離 (m)	聴感による波音の到達距離 (m)
2006/11/2 13:30～14:00	19.8	0.041	南東	0.81	65.5	17.8	100	175

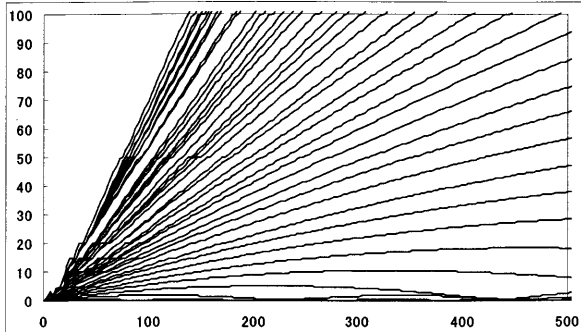


図5-53 0～40度 1度刻み 接地境界層100m

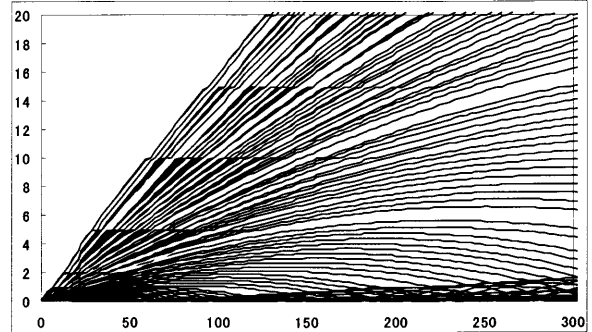


図5-54 0～10度 0.1度刻み 接地境界層100m

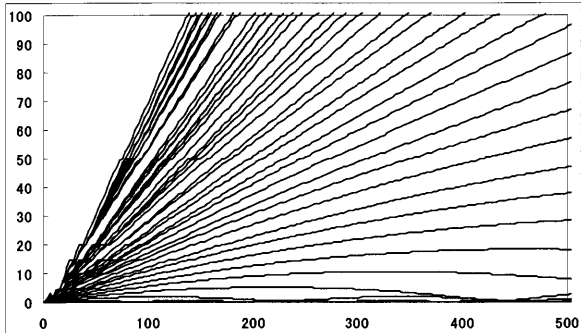


図5-55 0～40度 1度刻み 接地境界層50m

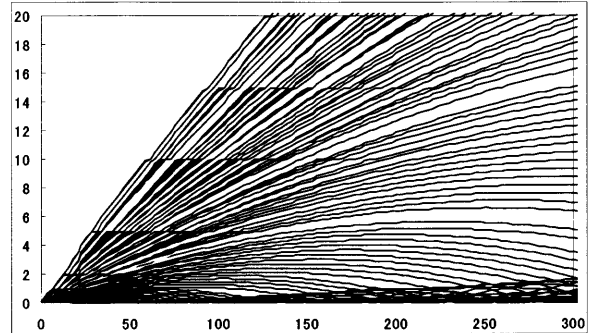


図5-56 0～10度 0.1度刻み 接地境界層50m

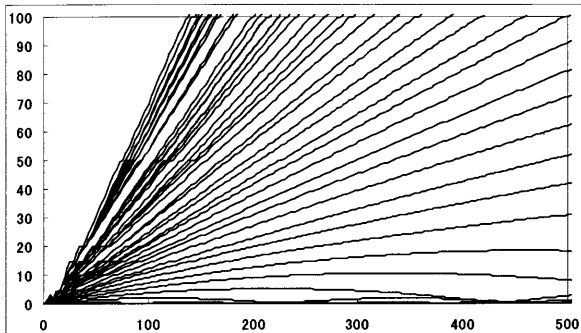


図5-57 0～40度 1度刻み 接地境界層20m

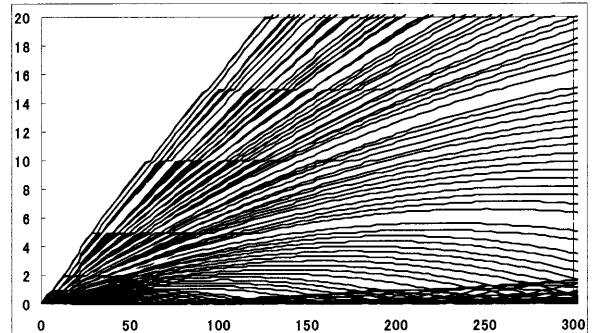


図5-58 0～10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が正、西向きベクトル風速が正となり、音線モデルからも波音が到達しやすい状況にあると考えられる。相関係数による波音到達距離の算出値は175mとなっている。

2006年11月2日 21:30～22:00

表5-11 気象条件と結果

測定日時	気温(℃)	接地境界層内温度勾配(℃/m)	風向	西向きベクトル風速(m/s)	波打ち際音圧レベル(dB)	距離減衰による波音の予想到達距離(m)	相関係数による波音の到達距離(m)	聴感による波音の到達距離(m)
2006/11/2 21:30～22:00	15.3	-0.016	西	-1.20	64.2	13.3	100	125

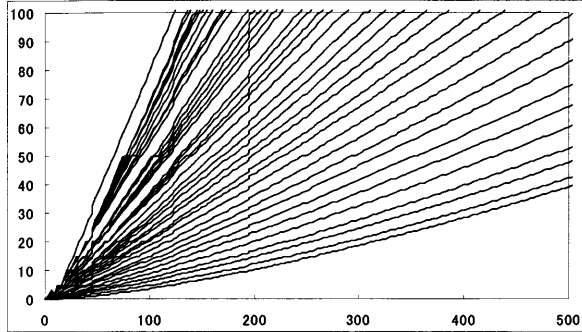


図5-59 0～40度 1度刻み 接地境界層100m

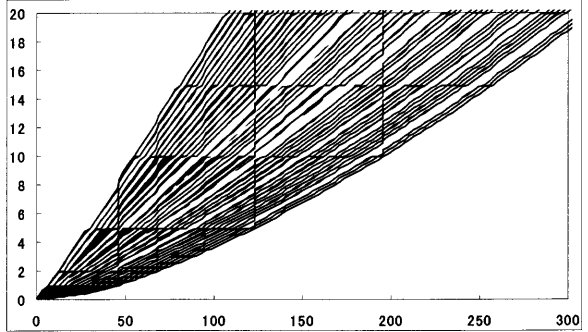


図5-60 0～10度 0.1度刻み 接地境界層100m

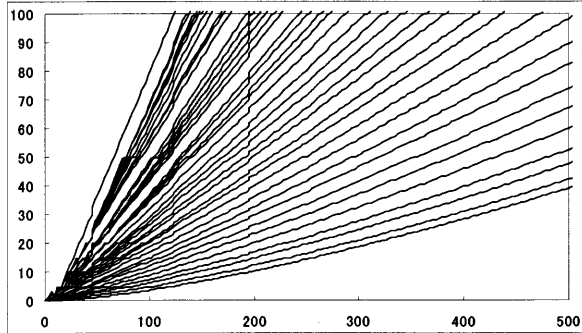


図5-61 0～40度 1度刻み 接地境界層50m

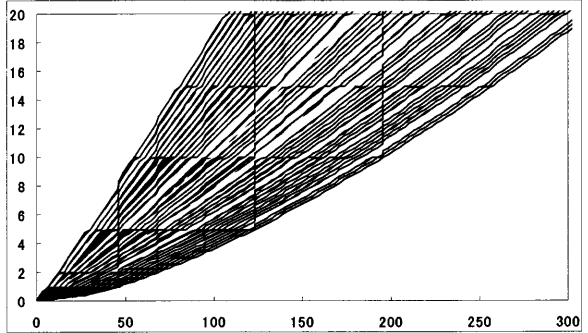


図5-62 0～10度 0.1度刻み 接地境界層50m

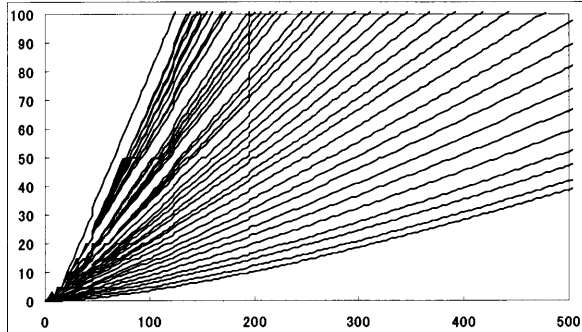


図5-63 0～40度 1度刻み 接地境界層20m

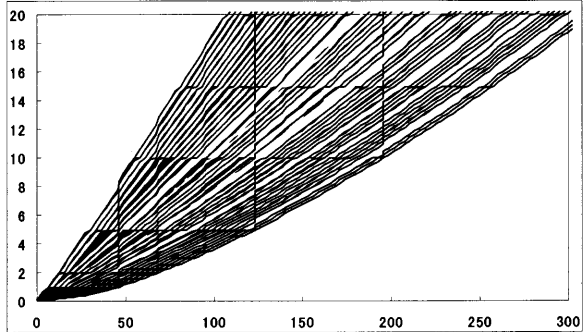


図5-64 0～10度 0.1度刻み 接地境界層20m

温度勾配が負、西向きベクトル風速が負となり、音線モデルは波音が到達しにくいシャドゾーンが形成されている。相関係数による波音到達距離の算出値は125mとなっている。

5-5 小括

2005 秋期の測定ではシャドーゾーンが形成されない場合とされる場合がほぼ半分ずつとなった。

2006 冬期の測定では 1/27 9:30 の結果以外は全てシャドーゾーンが形成された。

2006 夏期の測定では測定の約 1/3 においてシャドーゾーンが形成された。

2006 秋期の測定では測定の約 2/3 においてシャドーゾーンが形成された。

全体的な傾向をみると音線モデルと相関係数による波音の到達距離の間には関連がみられない場合も多かった。音線モデルでは障害物の有無や地表面性状の影響が考慮されないため、シャドーゾーンが形成されていない場合でも波音が伝搬しにくい状況にあることが考えられる。また、音源の出力レベルの影響も反映されないためシャドーゾーンが形成されている場合でも波音が遠くまで伝搬することも考えられる。結果から見ると音線モデルから波音の伝搬状況を予測することは困難であった。

距離減数による波音の予想到達距離と相関係数による波音の到達距離の間にもあまり関連はみられなかった。これは聴感による波音の到達距離についても同様であった。このことから線音源からの距離減衰式では波音の到達距離の予測を行うことは困難であることが示された。

第6章 音環境に配慮したキャンパス内の音環境計画に関する考察

6-1 既往アンケート結果

音環境に配慮したキャンパス内の音環境計画を考える上で、実際の使用者である学生の音環境に対する意識を把握する必要がある。以下に2004年に竹内が行った学生に対するアンケート調査結果を引用する。

このアンケートは三重大学学生を対象とし、240人に対して行った。なお、回収は231人、回収率は96.25%であった。

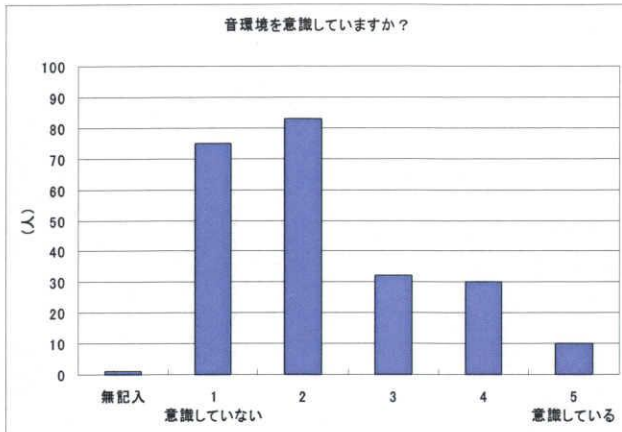


図 6-1 アンケート調査結果

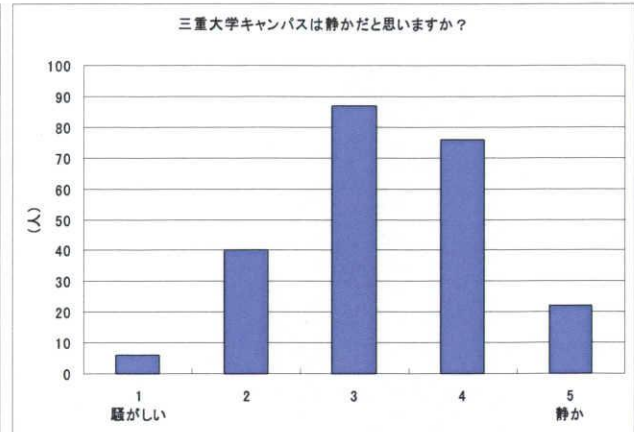


図 6-2 アンケート調査結果

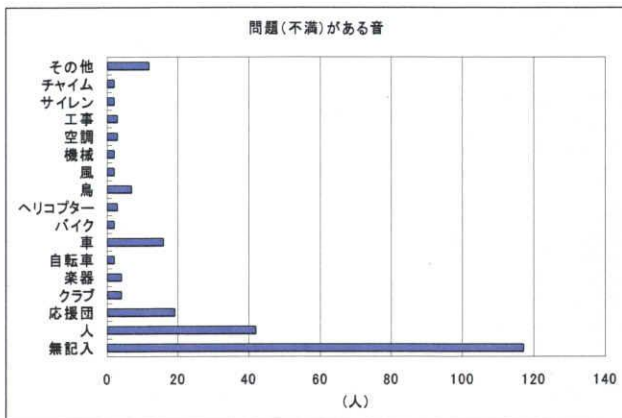


図 6-3 アンケート調査結果

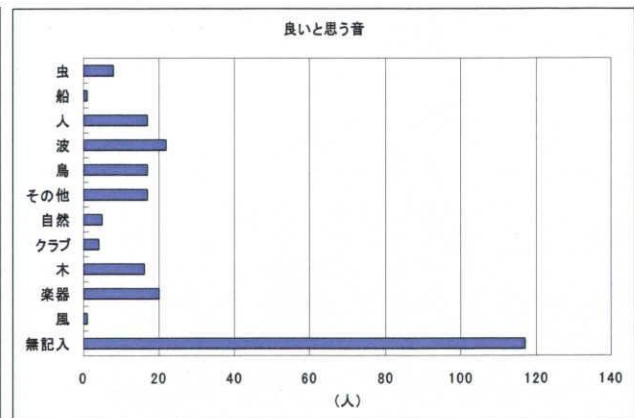


図 6-4 アンケート調査結果

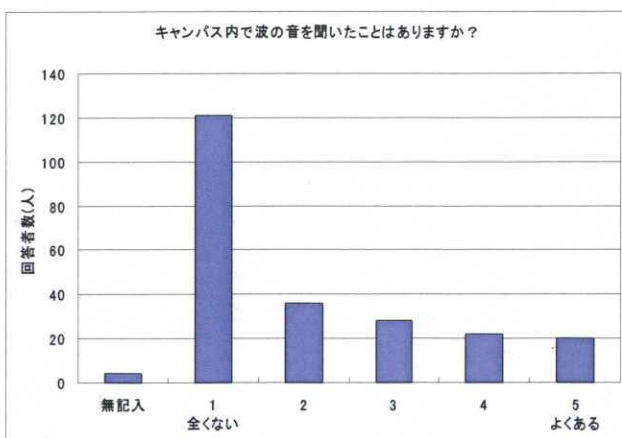


図 6-5 アンケート調査結果

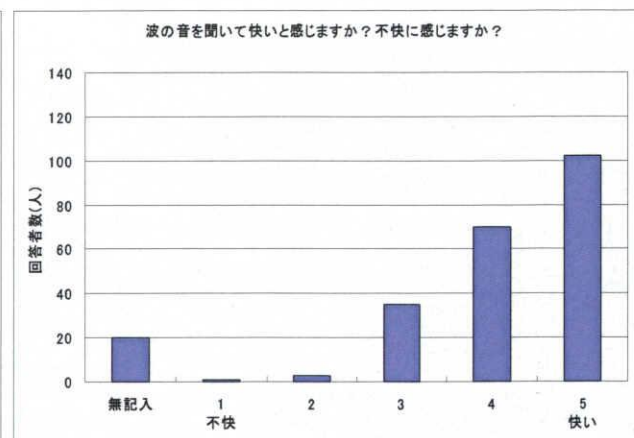


図 6-6 アンケート調査結果

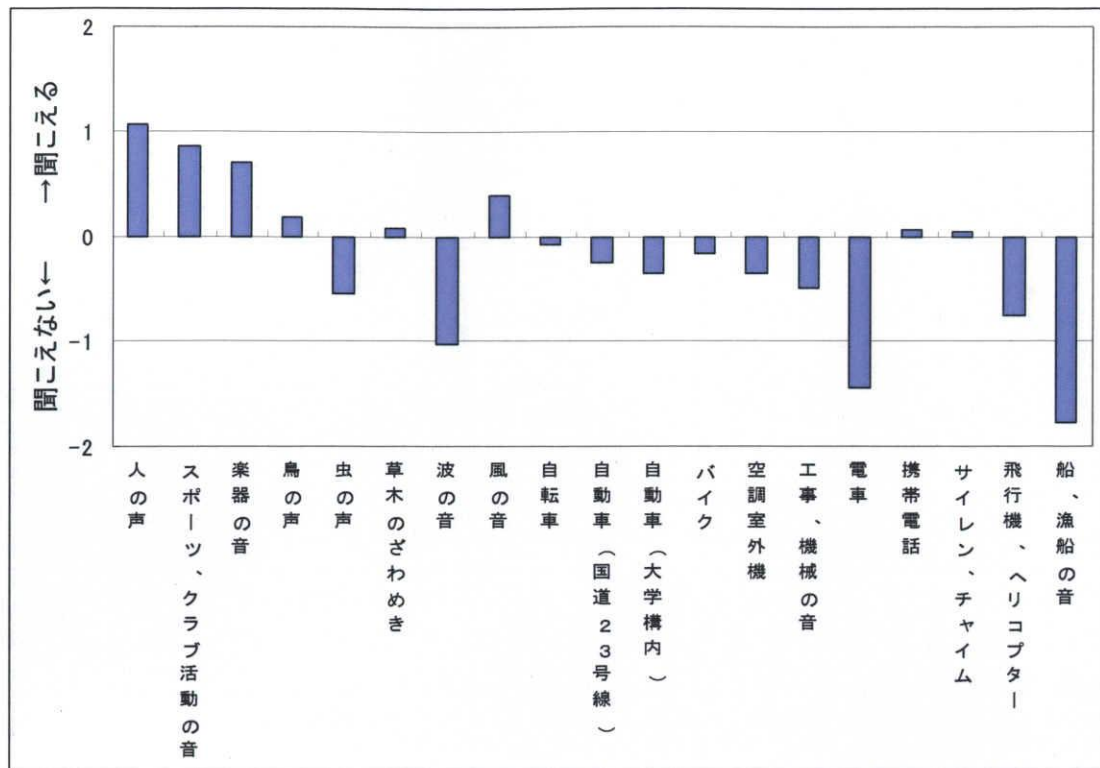


図 6-7 アンケート調査結果

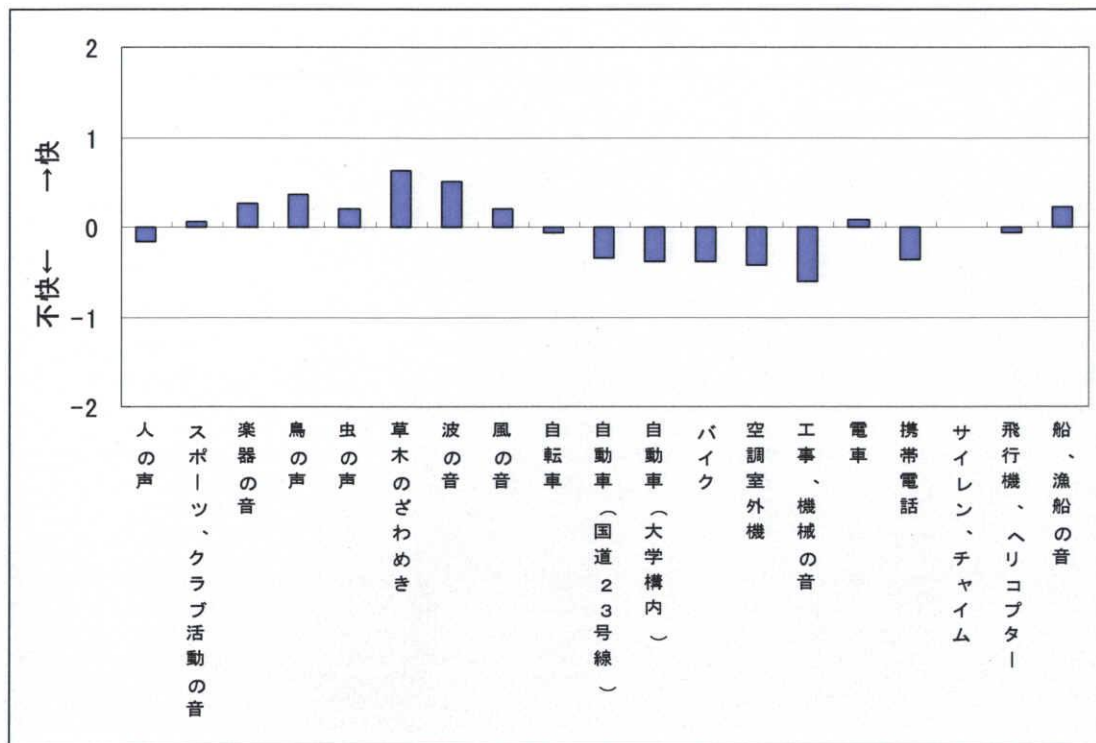


図 6-8 アンケート調査結果

6-2 小括

以上のアンケート結果や前章までの調査結果を踏まえ、音環境に配慮したキャンパス内の音環境計画について考察を行う。多くの学生は三重大学キャンパスを静かであると評価しており、良く聞こえる音も人の声・スポーツ、クラブ活動の音などの快いとも不快であるとも評価されない音であることから、適切な音環境計画を行えば波の音など自然の音をサウンドマークとした地域の特性を生かしたサウンドスケープを形成できる可能性があるといえる。

村上の調査では海浜地域のサウンドスケープを形成する適切な音を「快適性が高く」かつ「海らしい」音とすると波の音、船の音が挙げられ、海らしさに欠けるが快適性が高い音には自然や生き物を音源とする音、祭りの音、神社の鈴の音などが挙げられることを明らかにしている。三重大学の学生からアンケート調査を行った結果からは鳥・虫・草木・波・風などの自然音や楽器・船の音などが快いと評価されている。また自動車・バイクなどの交通音や、空調室外機・工事、機械・携帯電話などの機械音は不快であると評価されている。人の声・スポーツ、クラブ活動の音・自転車・電車・サイレン、チャイム・飛行機、ヘリコプターの音はどちらでもないと評価されている。祭りの音や神社の鈴の音はキャンパス内において日常的に聞かれる音ではないため、キャンパス内の音環境整備のためには鳥・虫・草木・波・風などの自然音や楽器・船の音などを活用あるいは保全し、自動車・バイクなどの交通音や、空調室外機・工事、機械・携帯電話などの機械音を排除あるいは抑制することが必要と思われる。

「快適性が高く」かつ「海らしい」音である波の音、船の音はアンケート結果からはあまり聞かれていないことが分かっている。一部の学生には人文学部・医学部付近でも波の音が聞こえたという回答もあったが、波の音のキャンパス内への伝搬状況は先に明らかにしてきたようにほとんどの場合において波打ち際から 300m 以内までである。このことから海岸側では海らしさを生かした音環境計画をつくり、国道 23 号線側では鳥・虫・草木の音による緑豊かな自然を生かした音環境計画を作成することが重要と思われる。海岸側では波音が伝搬しやすいように大きな建物を配置しないことや空調室外機は屋上に配置するなどの対策をとることが必要と思われる。海岸地域の植生は防風等の効果も持つため、波音が伝搬しやすいポイントを考えた上で適切に配置することが必要と考えられる。一方国道 23 号線側では交通騒音を遮蔽するように規模の大きな建物については外壁に吸音処置をとり、併せて植生による遮音効果とそれにより導入される自然音によるマスキング効果から音環境整備を考えることが適切であると考えられる。

また現段階での津市のマスタープランでは、国道 23 号線の渋滞を緩和するため、現在の海岸道路を拡張して片側 2 車線の道路を建設する計画がある。この計画が実現すると、三重大学キャンパスは東西を交通量の多い道路に挟まれることになり、キャンパス音環境の悪化が懸念される。また、拡張された海岸道路や交通騒音のために波音がより伝搬しにくい状況になることが予想される。海岸道路側に植生を植えるなどの対策を採用した場合、交通騒音を遮蔽し、鳥・虫・草木などの自然音を活用することが可能になるが、波音などの海らしさを表すものはますます聞こえがたい状況になると予想される。この計画が実施された場合にはあらためて測定調査を行い、海らしさを生かした音環境計画について検討を行う必要がある。

第7章 まとめ

7-1 研究のまとめ

本研究は波音導入によるサウンドスケープ的アプローチをもって海浜地域における音環境整備を図るための基礎的な資料を提供することを目的とし、測定調査や分析、シミュレーションとの比較を行ってきた。それらにより以下の結果を得ることが出来た。

波打ち際の地点における等価騒音レベルは約 65dB であり、50m 地点で約 55dB に減衰した後 300m 地点まではほぼ一定となる。季節別では夏期において虫の鳴き声のために等価騒音レベルが他の季節よりも高い傾向にある。他の季節間では大きな差は見られなかった。時間帯別では夜間においてやや等価騒音レベルが低くなる傾向が見られるものの、時間帯による等価騒音レベルへの影響は殆ど見られなかった。測定経路の違いによる等価騒音レベルへの影響については、道路上を通る経路 A、ハンドボールコートや工学部横を通る経路 C よりもグラウンドの横を通る経路 B においてスポーツ活動の影響などから全体的に高い傾向が見られ、波打ち際からの距離による変動も大きい傾向がみられた。

波音の到達距離については聴感による評価では客観性がないために、距離減衰により音が小さくなるにつれて暗騒音の影響を受け波形が変質を起こすことに着目し、波打ち際での録音波形とキャンパス内の各地点での録音波形を比較してその波形の変質の状態から波音の到達距離を算出する方法を提案し、考察を加えた。その結果平均では波の音は波打ち際から約 100m 地点までしか到達しておらず、海岸道路の影響などを受けてキャンパス内に到達しにくい状況にあることが把握された。しかしながら 300m 地点まで波音が観測できた場合もあった。この結果は聴感による評価とも一致しており、また 2006 年秋期に行った主観評価結果と相関分析による波音到達距離の算出結果についてもある程度の一致を見ることができたため、波形の変質の状態から波音の到達距離を算出する方法により波音の伝搬状況を推定することが可能であると考えられる。しかしながらより正確に波音の伝搬状況を推定するためには分析手法について更なる検討が必要と思われる。季節による相関係数の差については冬季において全体的に相関係数の値が低く、他の季節ではあまり差は見られなかった。時間帯別では全体的にあまり大きな差異は見られなかったが、50m～100m の間において朝・昼と夕方・夜間の間に差が見られ、50m 地点においては母平均の差の検定の結果、夕方と朝・昼の間に有意差が見られた。測定経路の違いによる相関係数への影響については海岸より内陸側の地点において、経路 A が他の経路よりも相関値が高くなる傾向にあった。また母平均の差の検定の結果、波打ち際から 75m～100m の地点において経路 A と経路 B の値には有意差が生じている事が分かった。また周波数を用いた分析からは主観評価結果、音圧変動に対する相関分析結果とも一致をみることができず、波音到達距離の算出には音圧変動に対する相関分析を用いることが現状では最も適当であることが確認された。

気象条件と波音の到達距離との関連性については一般的な音の伝搬傾向との一致は見たものの、重回帰分析の結果からは西向きベクトル風速、鉛直気温勾配、波打ち際音圧レベルの各パラメータと波音到達距離との間に統計的に有意な結果を得ることはできなかった。

音線法によるシミュレーション結果、線音源の減衰式と実測結果との比較から音線モデル、減衰による波音到達距離の予測ともに実測結果との一致をみることができなかった。この結果、線音源の減衰式

から波音到達距離を推定することは困難だということが分かった。

7-2 研究の総括

海浜地域の環境計画にサウンドスケープ的なアプローチを取り込んだ音環境計画を導入することについては、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所(省庁再編により現在は仙台港湾空港技術調査事務所)によるサウンドスケープを考慮した港湾環境の整備計画や、カリフォルニア州サンフランシスコのパレス・オブ・ファインアート(美術宮殿)の港湾地区にあるエキスポラトリウムのウェーブ・オルガンのように、音を通じて海辺特有の環境特性を実感させるような様々な工夫が凝らされている例がある。

本研究では波音を導入することによるサウンドスケープ的なアプローチをもって海浜地域の音環境を整備するための基礎資料として、波音の伝搬調査や伝搬距離に関わる気象条件について分析を行ってきた。

波音の伝搬距離の算定については音圧変動に対する相関分析を用いた方法が周波数を用いた方法よりも主観評価と一致することを確認できた。より正確な波音の伝搬距離の算定法を確立するためには波音が到達していると判断する相関係数値の決定方法や測定方法の改善を図ることが必要と思われる。

気象条件と波音の到達距離の関連性については、西向きベクトル風速、鉛直気温勾配、波打ち際音圧レベルの各パラメータともに重回帰分析では有意な結果を得られなかった。しかしこれらのパラメータが音の到達距離に大きく影響することは音の伝搬の計算式からも明らかであるため、地表面性状や湿度等の音の伝搬に関わる他のパラメータの影響について今後検討を行う必要があると思われる。

そのため今後のシミュレーションについては音線モデルだけではなく、大気と地面の状態やその相互作用も計算に反映することができる PE 法などを用いて検討を行う必要があると考える。

参考文献

- [1] 村上仁士他：サウンドスケープの特性に基づく沿岸集落の「海らしさ」に関する考察，日本沿岸域学会論文集，Vol.13,pp11-24,2001
- [2] 村上仁士他：土地利用形態を考慮した海岸のサウンドスケープに関する基礎的考察，土木学会四国支部第5回技術研究発表会，pp446-447,1999
- [3] 亀山豊他：サウンドスケープの観点に基づく海辺の環境計画－その考え方と導入方法－，港湾 巻号 71(8),pp37-43,1994
- [4] 伊藤亜希彦：波音のキャンパス内音環境に対する影響－三重大学キャンパスの音環境に関する基礎的研究－，三重大学大学院工学研究科修士論文,2002
- [5] 竹内幸生：幹線道路及び海岸近傍地域における音環境整備に関する研究－三重大学キャンパスの音環境に対するサウンドスケープ的アプローチ－，三重大学大学院工学研究科修士論文,2005
- [6] 深川雄司他：携帯型音楽プレーヤーを利用した環境騒音の長時間測定－住居近傍での実測に基づく測定精度に関する検討－，日本音響学会講演論文集，pp605-606,2006
- [7] 深川雄司他：メモリーオーディオプレーヤーを活用した環境騒音の長時間測定・評価について，日本音響学会 2006 年春季研究発表会，pp787-788
- [8] 時田保夫他：「音の環境と制御技術」，第Ⅱ巻応用技術，pp834-835

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々にご指導ご協力を賜りました。

指導教官である寺島貴根助教授には貴重なご意見と丁寧なご指導を頂きました。厚く御礼申し上げます。また、石川幸雄教授、永井久也助教授、北野博亮助手、岩田剛技術専門員には貴重なご意見を頂きました。厚く御礼申し上げます。

MP3 による測定方法および MP3 レコーダからの音圧の読み出しについては、三重大学工学部物理工学科・野呂研究室の皆様にご協力を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

音線法による音の伝搬計算については名城大学理工学部建築学科・岡田恭明講師にご協力を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

重ねて、本研究において三重大学環境設備研究室の皆様には多忙な中測定調査等のご協力をはじめ、貴重なご意見を頂きました。皆様には心から感謝致します。

最後に、いつも陰ながら応援し支えてくれた家族に心から感謝致します。

付録

<経路 A における測定地点の写真>



図 1 0m地点



図 2 25m地点



図 3 41m地点



図 4 50m地点



図 5 75m地点



図 6 100m地点



図 7 110m地点



図 8 117m地点



図 9 125m地点



図 10 150m地点

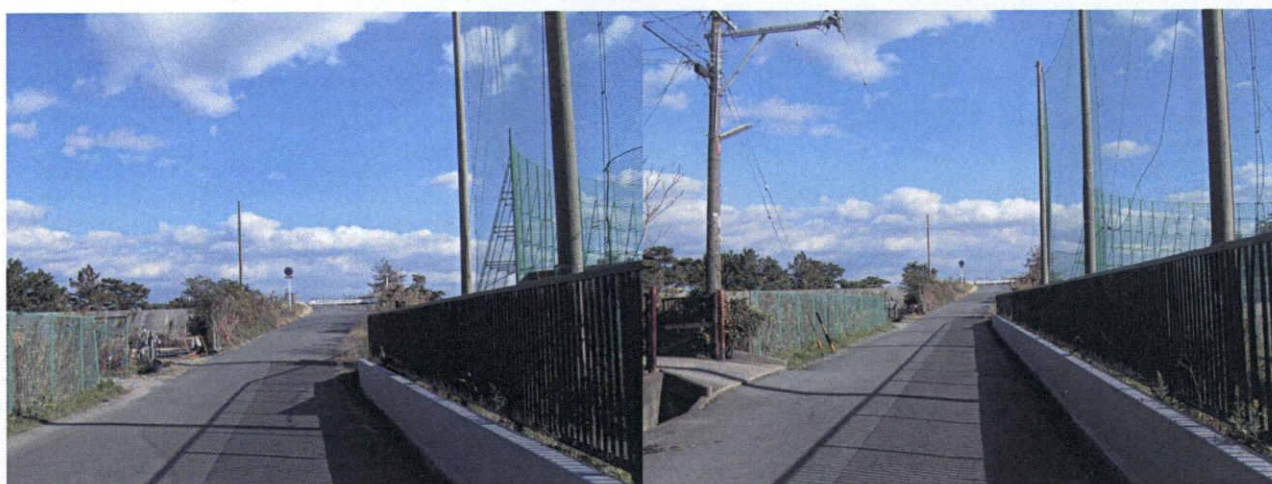


図 11 175m地点



図 12 200m地点



図 13 225m地点

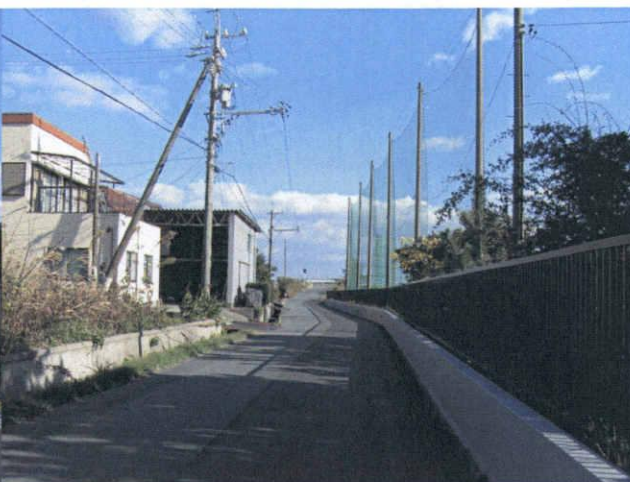


図 14 250m地点

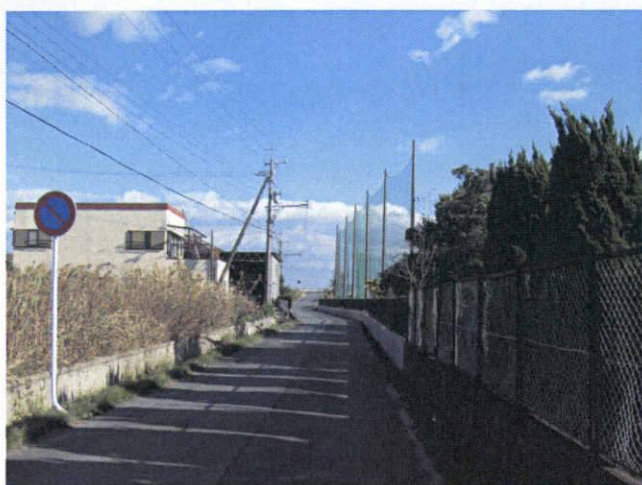


図 15 275m地点



図 16 300m地点

<経路 B における測定地点の写真>



図 17 0m地点



図 18 25m地点



図 19 50m地点



図 20 75m地点



図 21 95m地点



図 22 98m地点

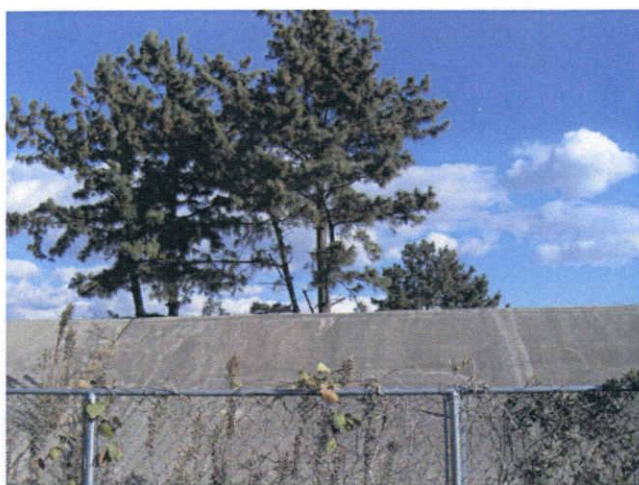


図 23 110m地点

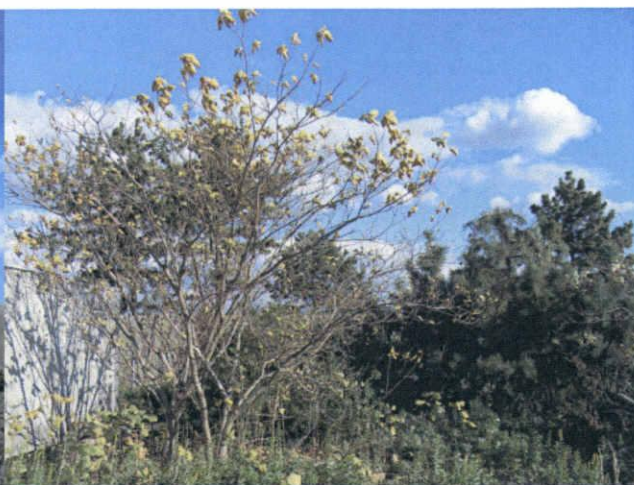


図 24 125m地点



図 25 150m地点

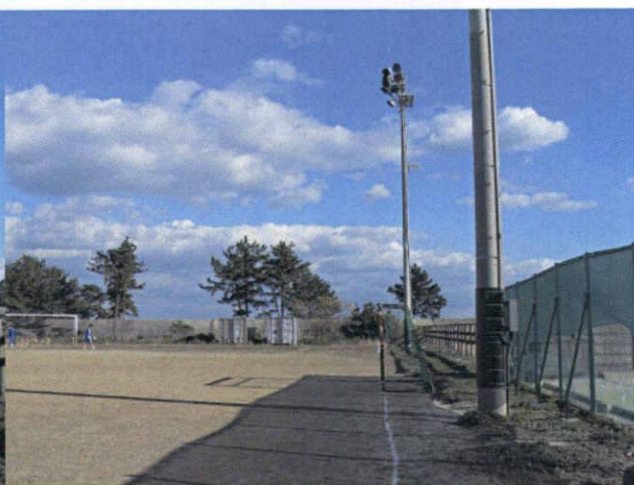


図 26 175m地点

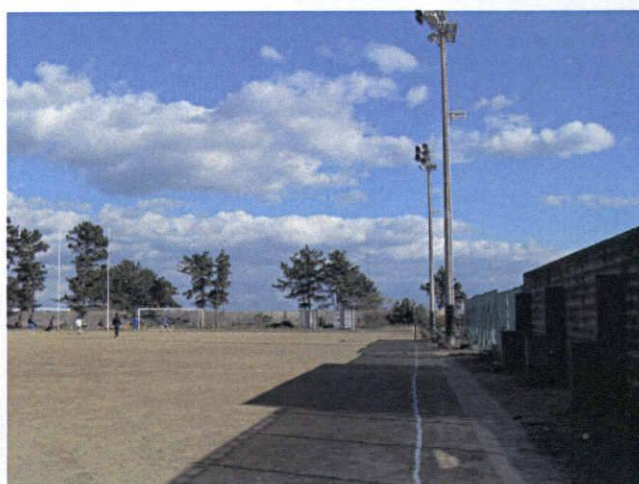


図 27 200m地点



図 28 225m地点

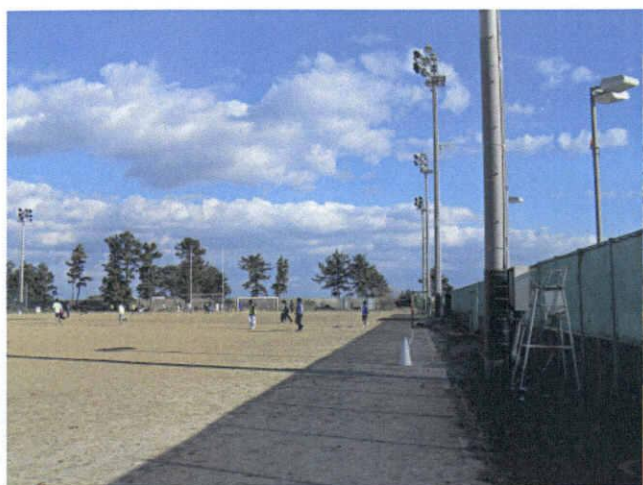


図 29 250m地点



図 30 275m地点



図 31 300m地点

<経路Cにおける測定地点の写真>

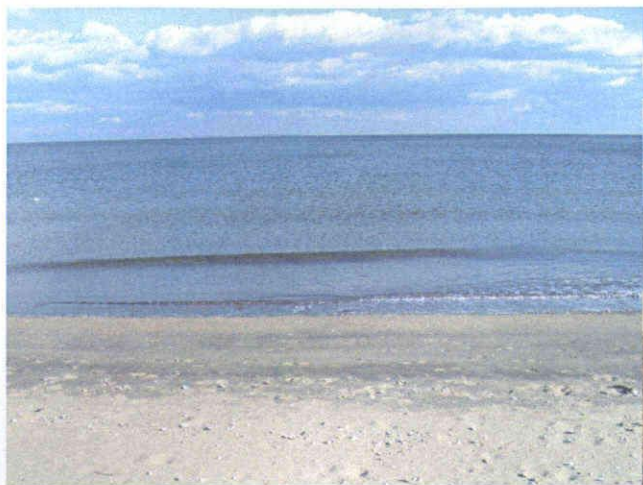


図 32 0m地点



図 33 25m地点



図 34 50m地点

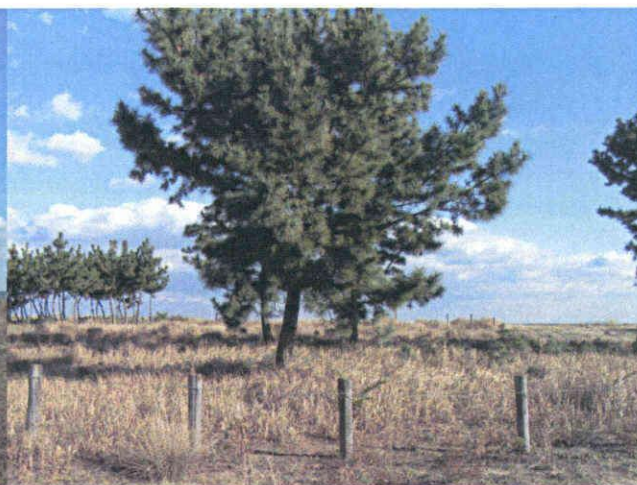


図 35 75m地点



図 36 91m地点



図 37 97m地点



図 38 105m地点



図 39 125m地点

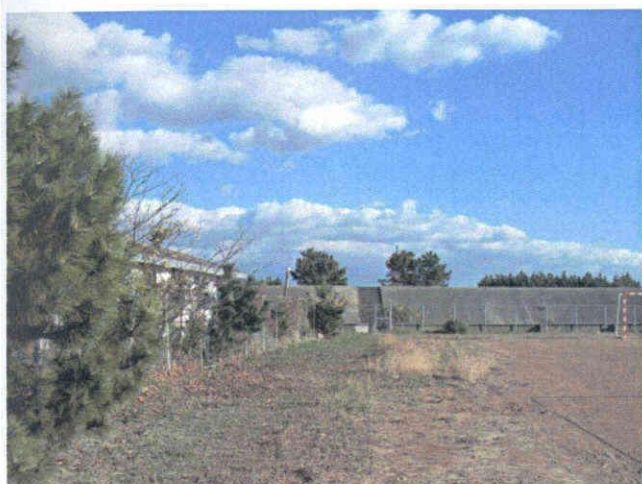


図 40 150m地点



図 41 175m地点



図 42 200m地点



図 43 225m地点



図 44 250m地点

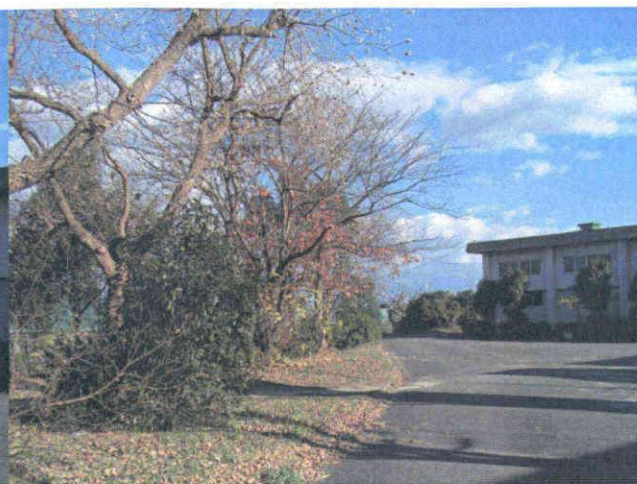


図 45 275m地点



図 46 300m地点

<主観記述評価の結果>

表 1 10/26 主観的記述評価の結果

系列	A																
記録者9:30~																	
記録者13:30~																	
記録者17:30~																	
記録者21:30~																	
測定地点距離	0	25	41	50	75	100	110	117	125	150	175	200	225	250	275	300	
2006/10/26 9:30~10:00	◎	◎	○	●	●	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
備考		虫 小	ハンマー音 中 ヘリ 小 鳥 小	ハンマー音 中 虫 中 鳥 小	ハンマー音 中 虫 中 鳥 小	ハンマー音 中 虫 中 鳥 小	虫 中 工事音 中	虫 中 工事音 中	虫 小 工事音 中 車 小 飛行機 小	工事音 小 テニス 小	工事音 小 テニス 小	車 小 テニス 小	テニス 小 エンジン 小	工事音 小	車(R23) 小 工事音 小	鳥 中 虫 小 工事音 小	
2006/10/26 13:30~14:00	◎	◎	○	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
備考		サイレン 中	サイレン 中			虫 中 カラス 中 人 小	人 小	人 中 ヘリ 小	人 中	ヘリ 小 フェンスのき しみ音 小	ヘリ 小 人 中	車 小 人 中	人 中	虫 中 人 中 飛行機 小	虫 小		
2006/10/26 17:30~18:00	◎	◎	◎	○	○	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
備考	人 小 車 小	人 小 車 小	人 小	虫 中	人 小 虫 中	虫 中	人 中 鳥 中	人 中 鳥 中	人 中	虫 中	人 小 虫 小	人 中 自転車	虫 小	虫 小	虫 小	人 中 電車 中 虫 小	
2006/10/26 21:30~22:00	◎	◎	◎	◎	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	
備考		虫 中	虫 中	虫 中	虫 中	虫 中	虫 中	虫 中		虫 中	虫 中	虫 中	虫 中	虫 中 電車 ベース	虫 中 電車 ベース	ギター 大	

表 2 10/31 主観的記述評価の結果

系列	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
----	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

表 3 11/2 主観的記述評価の結果

系列	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
----	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

表 4 10/26 主観的記述評価の結果

系列	B															
記録者9:30																
記録者13:30																
記録者17:30																
記録者21:30																
測定地点距離	0	25	50	75	95	98	110	125	150	175	200	225	250	275	300	
2006/10/26 9:30~10:00	◎	◎	○	●	△	△	△	x	x	x	x	x	x	x	x	
備考		虫 中	虫 大	虫 大	草 中 鳥 中 虫 大 テニス 中	虫 大 工事音 中	草 大 鳥 大	草 中 虫 中 テニス 中	鳥 小 テニス 中	テニス 小	テニス 小	虫 中 テニス 大	草 大 テニス 大	草 大 鳥 中 風 中 テニス 中	テニス 小	
2006/10/26 13:30~14:00	◎	◎	○	x	●	●	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
備考		虫 小	虫 小	虫 小 風 中	虫 大	虫 中	虫 小	虫 小 テニス 中	テニス 中	テニス 中	テニス 中	木 小	虫 小	木 小	人 中	
2006/10/26 17:30~18:00	◎	◎	○	△	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
備考		虫 小	虫 小	虫 大	虫 大	虫 中	虫 中	虫 小	サッカー 中	サッカー 中	人 小 テニス 小	人 小 テニス 小	人 中 サッカー 中 テニス 中	人 小 陸上 小		
2006/10/26 21:30~22:00	◎	◎	△	△	△	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
備考			虫 中	虫 大	虫 大	虫 中	虫 中	虫 中	虫 小	虫 小 ダンス 中	虫 小	虫 小	人 小	人 小 虫 小		

表 5 10/31 主観的記述評価の結果

系列	B															
記録者9:30																
記録者13:30																
記録者17:30																
記録者21:30																
測定地点距離	0	25	50	75	95	98	110	125	150	175	200	225	250	275	300	
2006/10/31 9:30~10:00	◎	◎	○	○	○	○	x	●	△	△	x	x	x	x	x	
備考		鳥 小	鳥 小 虫 中	虫 大	虫 大	虫 中	鳥 中 ゴルフ 小	虫 大 ゴルフ 小	鳥 中	鳥 中				プラス 小 テニス 中		
2006/10/31 13:30~14:00	◎	◎	◎	○	○	○	x	x	△	x	x	x	x	x	x	
備考		鳥 小	虫 中	虫 大	虫 大 人 小	人 小 サッカー 小 虫 小	人 小	人 小	テニス 中 人 中	人 小	人 小	人 中 サッカー 小	人 中 サッカー 小	人 中 サッカー 小	人 中 サッカー 小	人 中 野球 小
2006/10/31 17:30~18:00	◎	◎	◎	◎	○	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
備考		虫 小	虫 小	虫 小	虫 中	人 小	人 中 サッカー 小	人 中 サッカー 小	人 中 サッカー 小	人 中 サッカー 小 テニス 中	人 中 サッカー 小 テニス 中	人 中 サッカー 小 テニス 中	人 中 サッカー 小 テニス 中	人 中 陸上 小 テニス 中	人 中 陸上 小 テニス 中	
2006/10/31 21:30~22:00	◎	◎	○	●	●	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
備考		虫 小	虫 中	虫 中	虫 中	虫 中	虫 小 犬 小	虫 小	虫 小	虫 小 人 小	虫 小	陸上 小	陸上 小	音楽 小	音楽 小	

表 6 10/26 主観的記述評価の結果

系列	C					波の音が	聞こえない ×				(例)										1	2	...	15	16	
記録者9:30							耳を澄ませば微かに聞こえる △														日付・時刻	◎	●	×	×	
記録者13:30							微かに聞こえる ●														備考			野球の音 小	虫の音 大	鳥の音 中
記録者17:30							聞こえる ○																			
記録者21:30							良く聞こえる ◎																			
測定地点距離	0	25	50	75	91	97	105	125	150	175	200	225	250	275	300											
2006/10/26 9:30～10:00	◎	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×											
備考			虫 中	虫 大	虫 小	人 小 虫 小	人 小 虫 小	虫 小 テニス 小 人 小	虫 小 テニス 中	虫 小	虫 小 テニス 中	虫 小 テニス 中	テニス 小	虫 小 テニス 中	虫 小 テニス 中											
2006/10/26 13:30～14:00	◎	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×											
備考		車 小	風 小 虫 小	救急車 小	テニス 小	テニス 小	車 小 虫 中	虫 中 室外機 小 テニス 小	虫 小 テニス 小 飛行機 小	虫 小 人 中 テニス 中 飛行機 小	虫 小 室外機 中 テニス 小 飛行機 小	室外機 大 人 中 テニス 小	人 大 テニス 小	虫 小 大 車 小	虫 小 大 車 小											
2006/10/26 17:30～18:00	◎	○	△	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×											
備考			車 小 大 虫	虫 小	虫 中	虫 小	風 小 虫 中	人 中 虫 中	人 中 虫 中	テニス 中 虫 大	虫 中	虫 小	人 中 虫 中	人 中 虫 小	虫 小											
2006/10/26 21:30～22:00	◎	○	○	●	●	●	●	×	×	×	×	×	×	×	×											
備考		電車 中 虫 大	電車 中 虫 大	電車 中 虫 大	電車 中 虫 大	23号 小 虫 大	23号 中 虫 大	23号 中 虫 大 電車	23号 中 虫 中	23号 大 虫 小 電車	23号 大 虫 小 電車	23号 中 虫 大 電車 小	23号 中 虫 小 電車 小	23号 小 虫 大 電車 中	23号 小 虫 小 電車 中	23号 中 虫 小 電車 中 人 大 サイン										

表 7 10/31 主観的記述評価の結果

系列	C									(例)		1	2	...	15	16
記録音9:30~											日付・時刻	◎	◎	●	x	x
記録音13:30~											備考				野球の音 小	虫の音 大
記録音17:30~															鳥の声 中	
記録音21:30~																
測定地点距離	0	25	50	75	91	97	105	125	150	175	200	225	250	275	300	
2006/10/31 9:30~10:	◎	○	●	●	△	△	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
備考		サッカー 小 虫 小	サッカー 小 虫 小	サッカー 中 虫 小	サッカー 中 虫 小	サッカー 中 虫 小	サッカー 中 虫 小	サッカー 中 虫 小	サッカー 中 虫 小	サッカー 小 虫 小 鳥 小	サッカー 小 虫 小 鳥 小	サッカー 小 虫 小	鳥 小	虫 小 人 小	虫 小 人 小	
2006/10/31 13:30~14: 00	◎	○	○	●	△	△	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
備考		虫 小	虫 小	虫 小	虫 小	虫 小	サッカー 小 虫 小	サッカー 小 虫 中 鳥 小	サッカー 中 虫 小	サッカー 小 虫 小	サッカー 小 虫 小	サッカー 小 虫 小 鳥 小	サッカー 中 室内機 中 鳥 小	サッカー 中 虫 小 鳥 中	サッカー 中 虫 小 鳥 中	
2006/10/31 17:30~18: 00	◎	○	○	●	●	△	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
備考		虫 小	虫 中 部活 中	虫 中 部活 中 草 小	虫 小 部活 中	虫 小 部活 中	虫 小 部活 大	虫 小 部活 大	虫 小 部活 大	虫 中 部活 中	虫 小 部活 中 室外機 小	虫 小 部活 小	虫 小 部活 中	虫 小 部活 中	虫 小 部活 中	
2006/10/31 21:30~22: 00	◎	○	●	●	△	△	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
備考		虫 中	虫 中 23号 小	虫 中 23号 小	虫 大 23号 小	虫 中 23号 中	虫 小 23号 小	虫 中 23号 中 電車 中	虫 中 23号 中	虫 小 23号 中 木 小	虫 中 木 中	虫 小 中 部活 小	虫 小 小 部活 小	虫 小 小 部活 小	虫 小 小 部活 23号 中 電車 中	虫 小 小 部活 24号 中 電車 中