

大気環境アメニティの一要素としての飛塩量特性

仲 座 栄 三*・津嘉山正光**・照 屋 雅 彦***

1. はじめに

最近のウォーターフロントや海洋性リゾートブームにより、自然海岸域が未だかつて経験したことのない急速な変化を受けると同時に、そこに急激に人間の生活空間が出来つつある。特に、都市部においては埋立などによって住宅地域が海岸からかなり沖側まで張り出してきている。このように急速に開発されつつある沿岸地域においては、塩害など大気環境アメニティの低下が深刻な問題となっている。しかし、大気環境アメニティをも含めた塩害に関する研究例は以外と少ない（但し、主として微小粒径の海塩を取り扱った鳥羽らの先駆的な一連の研究がある、1966, 1967）。このようなことから現在、海岸空間の実務設計においても十分な設計指針はなく、技術者の経験的な判断によって海岸植生や住宅地の配置が行われている。ここで改めて古くからある沿岸集落地に目を向けると、そこでは沿岸特有の自然環境に対して独自の対策を立てると共に、自然に対して比較的柔軟に対処している。特に、「台風銀座」の異名をとる沖縄県における飛塩量は他県のそれに比較して極めて多いと言われており、長寿県にこのことが関与している可能性もある（海気沿が健康に良いことは、神山らによって指摘されている、1983）。

本研究は、こうした古くからある沿岸集落地や新興住宅地、及び錆や湿気などが問題となっている住宅地域において、海岸からの飛塩量、風向・風速、気温、湿気などに関する総合的な気象観測を行うと同時に、そこに暮らす住民を対象として環境アメニティに関するアンケート調査を行い、沿岸住宅地における環境アメニティを構成する要素は何か、またアメニティを低下させる支配的な要素は何なのかを探り、今後の沿岸開発（空間設計）に対する一つの設計指針を引きだそうとするものである。

2. 海岸環境アメニティに関するアンケート調査

アンケート調査では、埋立などによって新しく形成された新興住宅地と古くからの沿岸集落地とで、住民らがどのような生活環境アメニティの下に生活しているのかを探ると共に、沿岸部における大気環境アメニティの支配的な因子を見いだすことを目的とした。

2.1 アンケートを実施した沿岸集落地の地形的条件

アンケートは図一に示すような沖縄本島中南部の宜野湾海岸一帯と佐敷町、及び米須海岸一帯の住民を対象に行った。宜野湾海岸一帯の場合、最近開発の日ざましい新興住宅地域である。この



図一 アンケート調査位置図

海岸線は北側に面しており、季節風の吹き荒れる冬場の強風や塩害が問題となっている地域である。一方、米須海岸一帯は、古くからの沿岸集落地であり、農業を中心とした村落である。この地域では、海岸線が南東を向いていることから、季節風は問題とならないが、台風時の南風により極めて大量の海塩粒子が降下する地域として知られている。また、この地域は、強風や海塩対策として海岸線に幅約 50 m 程度の造林を行っている。宜野湾海岸の場合、埋め立て地の先端付近まで民家が進出しており、米須海岸に匹敵するような十分成長した海岸林は見られない。佐敷町における調査地点は、海岸付近の平地（海拔約 30 m）と海岸から約 1 km 離れた高台（海拔約 145 m）とで行った。海岸近くの平地は、農業を主産業とする古くからの沿岸集落地である。これに対し、高台にある「つきしろの街」は以前はまったくの原っぱと畑地であったが、ここ10年の間に形成された比較的新しい住宅地である。この地域は、霧がよく発生し、湿気による住宅環境の悪化が深刻な問題となっている所である。

* 正会員 工博 琉球大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部土木工学科

*** 沖縄開発庁総合事務局那覇港工事事務所

2.2 アンケートの調査方法及び結果

アンケート調査では、住民の生活環境アメニティが海岸からの距離によってどのように変化するかを調べるため、図-1に示す調査対象海岸を 図-2に示すように、海岸からの距離により三つの小ブロックに分け、各ブロックの住民から無作為に8人程度を選び回答を得た。

まず、調査では沿岸住民がそこでの生活環境アメニティをどのように意識しているかを調べるため、表-1に示すような相反する設問項目を予め設け、各自の生活環境に対する評価として正しいと 意われる項目を選択させた。具体的には、表-1に示す設問のうち、最初に生活環境として良い評価の組み合わせである設問項目について回答させ、さらに生活環境として逆に悪い評価の組み合わせである各項目に関して回答してもらった。このように一見二重に意える調査法を採用したのは、人の判断の曖昧さを一回の設問で強引に評価させることを避ける為や、相反する設問へ回答させることそれ自体が互いにチェック機能を持つことによるものである。以下、結果の整理では、生活環境としての良い面と悪い面との二面性からそれぞれ評価することとした。

生活環境として良い面から捉えたアンケート調査結果を 図-3に示す。図示の米須海岸の場合、この地域が古くからの沿岸集落地であることを反映して、「人間関係が良い」「静かである」など殆どの自然環境に関する項目については高得点となっている。しかしながら、「公共の施設」、「文化施設」など人為的な生活環境に関しては、かなり低い値となっている。

図-4は、アンケート調査結果を生活環境として悪い面から捉え、各地域ごとに整理したものである。図-3に示す結果からも推定されることであるが、古くからの沿岸集落地である米須海岸の場合、人々は人為的な生活環境に不満であると感じているのに対し、殆どの自然環境に不満がなく、この地域における人々が自然的な環境のストレスをあまり受けていないものと判断される。しかしながら、この地域の場合、海岸線が南東に面しており、台風時期の強風及び塩害がかなり問題となっていることを示している。これに対し、最近開発されつつあ

る宜野湾海岸地区の場合、平均的に見て、人々は殆どの生活環境に不満を感じているようである。また、佐敷地区の場合、古くからの沿岸地域は、塩害及び強風に対する不満があるものの、殆どの項目で低得点となってお

表-1 アンケート調査項目

(A) 良い面	(B) 悪い面
1, 空気がおいしい	1, 空気がまずい
2, 水がおいしい	2, 水がまずい
3, 潮の香りが心地よい	3, 塩害がある
4, 日当たりがよい	4, 日当たりが悪い
5, 景観が良い	5, 景観が悪い
6, 風通しがよく涼しい	1, 風通しが悪い
7, 空がすばらしい	7, 空がかすんでいる
8, 緑が多い (自然)	8, 緑が少ない
9, 静かである	9, 騒音がある
10, 治安がよい	10, 治安が悪い
11, 人間関係がよい	11, 人間関係が悪い
12, 交通の便がよい	12, 風が強すぎる
13, 公共の施設が整っている	13, 交通の便が悪い
14, 文科施設が整っている	14, 公共の施設が整っていない
15, 厚生施設が整っている	15, 文科施設が整っていない
	16, 厚生施設が整っていない

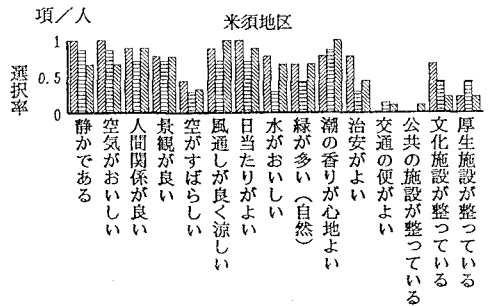


図-3 生活環境に関する調査結果(良い面)

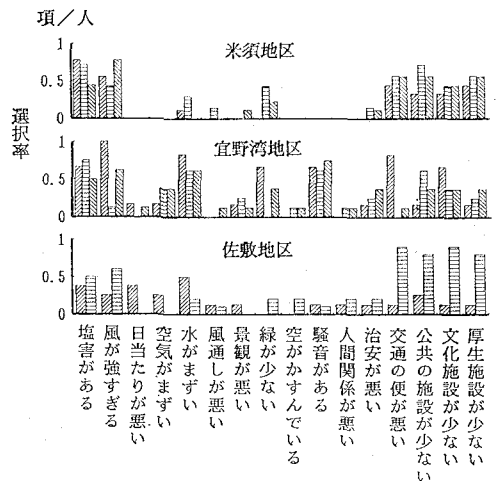


図-4 生活環境に関する調査結果(悪い面)

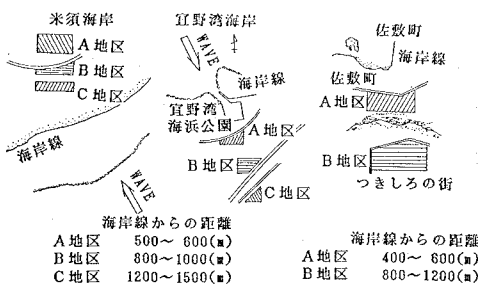


図-2 調査地域の海岸からの距離による区分

り、この地域が比較的地方であり海に近い所に位置するにも関わらず良い環境下にあることが伺える。一方、この地域からわずか 1km 程度内陸部に離れた所に位置し、最近開発された住宅地域では、比較的塩害や強風に対して敏感になっていると共に、人為的な環境要素の面でかなりの不満を感じていることが分かる。この地域が宜野湾地区と同様に最近開発されたにも関わらず、人為的な生活環境要素の面でアメニティの低さが目立つのは、先に示した宜野湾地区が行政の指導の下に地域開発されているのに対し、この地区はプライベートな開発に委ねられているため十分な都市開発がなされていないことによるものと判断される。

以上述べたように、古くからの沿岸集落地が快適な自然環境の下に生活しているのに対し、最近開発されつつある新興住宅地では、自然的な環境アメニティの低下が目立つ。都市化が進むにつれて「自然的環境に対するアメニティ」及び「人間的なつながりに関するアメニティ」は、必然的に低下するものと考えられるが、古くからの沿岸集落地における環境適合性などは、海岸環境の設計において貴重な参考資料となり得るものと考えられる。

図-4 で示すように、沿岸域における自然環境に関するアメニティの低下に大きな影響を与えているのは「風の強さ」や「海岸から飛来する飛塩量」と判断される。これらはまた、沿岸域における大気環境アメニティを支配する要素と考えられる。以下においては、その一つである塩害に着目し、塩害が人の生活の中でどのように意識されているかについてアンケート調査した結果について述べる。

塩害に関するアンケート調査では、人々が塩害を感じる要素として、「金属の錆」や「人肌への影響」など予め準備した6項目に対して、最高点を4点として0点までの5段階点数評価法により回答を得た。その結果を図-5 に示した。図示のとおり、沿岸部における塩害は、「窓ガラスに海塩粒子が付着する」ことや「金属類が錆びる」など視覚的に感じると同時に、「香り」や「肌がべたつく」など臭覚触覚などによっても感じられる程

度であり、その強さは海岸からの距離による有意な差を示している。塩害に関する意識の高さは、調査地区によって異なっている。特に、古くからの沿岸住宅地域である米須海岸の場合、海岸林の造林など飛塩に対する対策を講じているにも関わらず、殆どの項目で高得点となっている。

図-6 は、塩害に関する質問項目に対して、「かなり感じる」と答えた項目を1点とし、その得点数を回答者の住宅地の海岸からの距離によって整理したものである。図示のとおり、得点（塩害に対する不快度ともとれる）は、海岸からの距離によって急激に減少し、海岸から約 2 km 離れた位置においては、殆ど塩害を感じなくなっている。勿論、この結果は図-5 と同様、海岸から飛来する海塩濃度分布の違いによるものと考えられるが、これについては次節で詳述する。

図-5 には、直接塩害とは関係ないが、波の音に関する調査結果も示してある。台風時の塩害が深刻な米須地区や佐敷地区（つきしろの街）では、台風時の波の音に関して殆どの方がかなり大きな音がすると答えている。漁師などは、台風時間の中で波の音を頼りに防災対策を立てたりしているが、轟音として聞こえる台風時の波の音に対して沿岸住民らは一種の不安を感じているようである。これに対し、季節風による塩害の深刻な宜野湾地区では、殆どの方が波の音を感じていない。このことは、勿論台風時と季節風時とで波の規模に大差があることによるものと考えられる。

3. 飛塩量の空間分布

飛塩量に関する現地観測は、米須海岸においては台風接近時に行い、宜野湾地区と佐敷地区とでは、季節風時を対象として行った。海塩粒子の捕捉には、図-7 に示すような高さ 7.0 m のポールに 1 m 間隔で取り付けられた採塩器を用いて行った。風向・風速の測定には、熱式風速計 2 台と中浅式風向風速計 4 台を用いて行った。なお、観測測線は、風向に平行な一直線上にとった。観測器や観測方法に関しては、仲座ら（1990）を参考にして頂きたい。

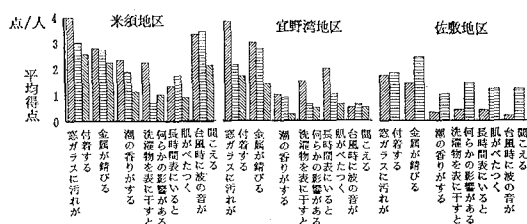


図-5 塩害に関するアンケート調査結果

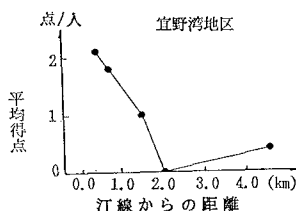


図-6 海岸からの距離による塩害意識の変化

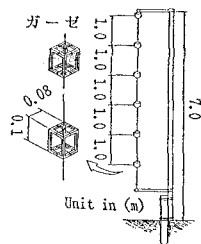


図-7 採塩器及び設置方法

図-8 に米須海岸において台風接近時(汀線位置における風速は 4.5 m/s)に観測した飛塩輸送量 ($Q=C \cdot U$; C : 飛塩濃度, U : 風速)の空間分布を示す。図中のコンター値は、汀線位置における垂直方向の飛塩輸送量の平均値を基準にして無次元化した飛塩輸送量を示している。図-9 は、各観測点における飛塩輸送量と風速より求めた飛塩濃度を示している。コンターが密で傾きが急なほど飛塩量の減衰が大きいことを意味するが、飛塩輸送量及び飛塩濃度は、大粒径の海塩粒子が降下する砂浜上で急激に減衰すると共に、海岸林によってかなり減衰し、その後樹高の低いサトウキビ畑では海岸からの距離と共に緩やかに減少している。この場合、海岸林によるフィルター効果は 60% にも達することが分かる。一方、図-10 は風速 7.8 m/s 時における飛塩量分布を示している。この場合、植生によるフィルター効果は 80% にも達しており、植生のフィルター効果が風速によって変化することが分かる。これは、風が同じ植生内を通り過ぎる場合でも風速によって植生を密に感じたり粗に感じたりするためであり、また植生背後の後流の変化などによるものであると判断される。

図-11 は、汀線位置における風速が 4.2 m/s 時における佐敷地区の飛塩輸送量の分布を示している。この地区における飛塩輸送量は、図-8 に示した場合と異なり、全体的に汀線からの距離によって緩やかに変化している。海岸線から約 1 km 離れた海拔 145 m 位置(つ

きしろの街)における飛塩輸送量は、海岸線付近とほぼ同じとなっている。これは、斜面に沿う上昇流によって海塩の降下速度が鈍化することや、「つきしろの街」付近の風速が汀線付近の数倍も大きくなっていることに起因するものと判断される。塩害に直接関係するのは、飛塩濃度よりも飛塩輸送量と考えられ、この図よりこの地区が深刻な塩害に悩まされている事実が理解される。さらに、この地区は霧が深く、湿気が多いと言われる地域であるが、このことに海塩粒子や断崖を駆け上る風が関係しているものと考えられる。すなわち、海塩粒子は霧の核となる可能性があり、昼あとかから夕方にかけて斜面一帯が日陰となり気温が低下するのに対し、丘の上に位置する「つきしろ街」辺りはまだ日が射して気温が高い状態にあるため、斜面上の冷気と断崖上の暖気とが複雑に混り合うことによって霧が発生しやすくなっているものと考えられる。

図-12 は、宜野湾海岸において季節風時に行った調査による飛塩量の海岸線からの変化を示している。図中、実線は浜田ら(1986)の経験式を示しており、破線は次式による値である(詳細は、仲座らを参照, 1990)。

$$Q = A \cdot \exp(-D \cdot \log \xi) + Q_{\infty}$$

$$\xi = \sqrt{ql}/u$$

Q : 平均風速が u で海岸からの距離が l の位置における飛塩輸送量

Q_{∞} : 海岸から十分離れた位置における飛塩輸送量

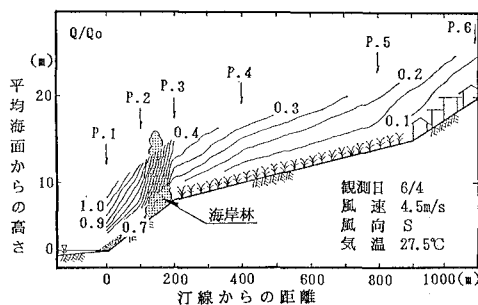


図-8 飛塩輸送量の空間分布(米須地区)

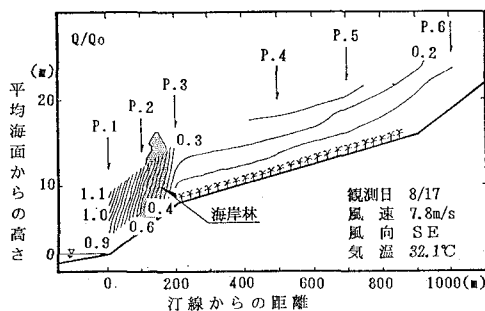


図-10 飛塩輸送量の空間分布(米須地区)

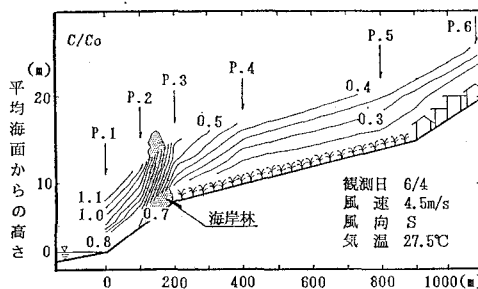


図-9 飛塩濃度の空間分布(米須地区)

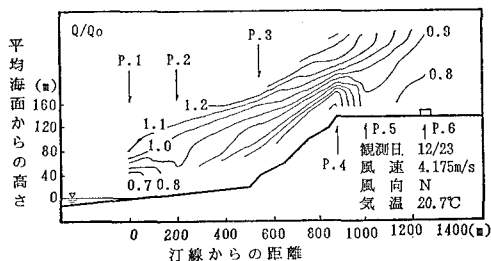


図-11 飛塩輸送量の空間分布(佐敷地区)

A : 汀線付近の飛塩量と Q_0 との差

D : 飛塩粒子の拡散及び降下速度等を含んだ係数

この海岸の場合、十分発達した海岸林は殆どなく、汀線近くから一様に住宅が建っている地域である。飛塩量分布は、海岸からの距離によって指数曲線的に減衰し、海岸線から約 1km 離れた所で汀線付近の飛塩量の約 1/100 程度となり一様化している。

一方、図-8 に示す台風時の飛塩量は海岸線から 1km 離れた内陸部で 1/5 程度までしか減衰しておらず、台風時の飛塩量はかなり内陸奥深くまで入り込んでいる。海岸線から 1km 内陸部の飛塩量に関して、図-10 に示す台風時と 図-12 に示す季節風時とを比較した場合、同じ風速に対して、その違いは約 100 倍にも達する。この値は、台風接近時の風速約 7.8m/s の場合であり、風速 40m/s にも達する台風最接近時においては、ここで示す飛塩量を遙かに上回る飛塩が内陸深く輸送されることが予想される。すなわち、台風常襲地帯である沖縄地方が他県と比較して塩害が圧倒的に多いと言われる所以は、この点の違いにあるものと判断される。

さらに、図-6 で示したように、季節風時に塩害が深刻となる宜野湾地区の塩害に関する意識調査結果が海岸線から約 1km 離れたところまで急激に変化する傾向は、図-12 に示す飛塩量の海岸からの距離の変化とほぼ一致する。すなわち、海岸域における大気環境アメニティの低下の定量的な予測は、飛塩輸送量を知ることによって可能と考えられる。

4. おわりに

本研究では、最近開発されつつある新興住宅地域や古くからの沿岸住宅地域に対して生活環境アメニティに関するアンケート調査を実施し、沿岸地域における住民がどのような環境アメニティの下に生活しているかを調べると共に、沿岸域の大気環境アメニティに対する支配因子が何であるかを検討した。その結果、新興住宅地域で自然的な環境アメニティの低下が見られるのに対し、古くからの沿岸住宅地域が殆ど自然環境からのストレスの無い状態にあることが明らかとなった。また、沿岸域における大気環境に支配的な因子が飛塩量や風速であることを明らかにした。さらに、沿岸部の総合的な気象観測により、飛塩量の空間分布特性や、飛塩に対する植生のフィルター効果について検討した。今後は、飛塩量と波

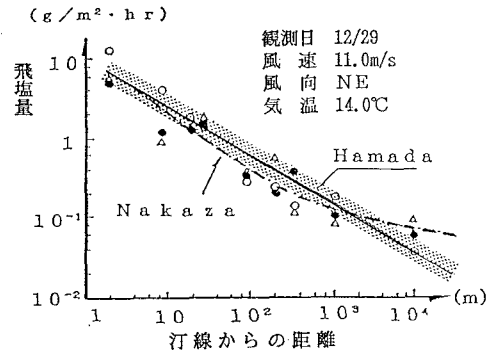


図-12 海岸からの距離による飛塩輸送量の変化

高及び風向・風速との関係をさらに検討すると共に、飛塩量の空間分布に関する物理的な予測モデルの開発を行う予定である。本論で具体的に取り上げなかったが、本研究で参考となった文献のリストも以下に記した。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、多くの方々の協力を得た。特に、水工学研究室の宇座俊吉技官を始めとして、当時大学院生の与儀実和・砂川勇二・高良尚樹、学部学生の鵜忠宏・赤嶺好祐・大山幸徳の諸氏には現地観測の際、多大なご協力を頂いた。ここに記して心より感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 鳥羽良朗 (1966): 飛塩粒子—大気と海洋との相互作用の一要素として—, 海と空, 41, 3-4 併合, pp. 71-118.
- 例えば, 鳥羽良朗・田中正昭 (1967): 塩害に関する基礎研究 (第一報), 京都大学防災研究所年報, 第 10 号, pp. 331-342.
- 田中正昭・鳥羽良朗 (1969): 塩害に関する基礎的研究 (第二報), 京都大学防災研究所年報, 第 12 号, pp. 331-342.
- 浜田純夫・日野伸一・兼行啓治・長谷川 博 (1986): 土木学会第 8 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 85-88.
- 幸喜善福・金城克明 (1983): 沖縄県における防風・防風林に関する研究 (IV), 日本林学会九州支部研究論文集, No. 36, pp. 17-23.
- 幸喜善福・島田賢司 (1987): 強風 (台風) 時における空中塩分付着量の推定に関する研究 (II), 砂丘研究, 第 34 巻, 第 2 号, pp. 17-23.
- 神田 学・日野幹雄 (1989): 植生による気候緩和効果に関する基礎的研究, 土木学会第 33 回水理講演会論文集, pp. 685-690.
- 神山恵三 (1983): 森の不思議, 岩波書店.
- 仲座栄三・照屋雅彦 (1990): 沿岸微気候の一要素としての飛塩量特性, 土木学会環境システム研究, Vol. 18, pp. 88-93.