

強風時の飛来塩分量と降雨中塩分濃度に関する研究

仲 座 栄 三* ・ 津 嘉 山 正 光** ・ 北 村 康 司***
増 田 悦 久**** ・ 和 田 誠***** ・ 糸 数 義 直*****

1. はじめに

台風時など強風が海岸から内陸に吹き込む時、海岸では内部境界層の発達と共に上昇気流が発生し、かなり低い高度で雲が形成される。この雲は、前線通過時に発生する安定した雨雲による雨とは異なり、大粒の雨でかつ雨あしの速い通り雨的な降雨をもたらす。

こうした降雨は、時には、車のフロントガラスを点々と濡らす程度の雨粒を伴い、直ちに蒸発し消えてしまう。この時、乾いたガラス面にはかすかに塩の結晶が残る。このような現象は、南国特有なスコールの発生時にも見られる。海岸部で急激に発生したスコールは、例えば、数分間という短時間に大粒の降雨を伴い通り過ぎる。台風接近時に発生する降雨もスコール的であり、この場合 10 分にも満たない降雨時間となる場合が多い。

海塩粒子が海から内陸に輸送されるメカニズムとして、直接風で輸送される場合と、降雨によってもたらされる場合とが存在する。海塩が風の作用で内陸方向に直接的に運ばれる場合、大気中の海塩粒子濃度は風速強度の 1〜3 乗に比例することが指摘されている [鳥羽ら, 1967; 浜田ら, 1986; 仲座ら, 1990; 山田ら, 1996]。海

で発生する飛沫は自重による篩い分け作用を伴うため、大粒径海塩粒子数は海岸近くで急激に減衰する。さらに、地表面付近の植生や地形粗度のフィルター効果によりカットされ、地表に近い大気中海塩粒子濃度は海岸からの距離が増大するにつれて指数曲線的に減衰する。

一方、海岸で雲を形成させるような上昇気流が発生する場合、巨大海塩粒子はその上昇気流に乗り、内陸深くまで輸送されるものと考えられる。こうして形成された雲は、強い水平風により直ちに流されるため、積乱雲の巨大セルの形成には至らない。沿岸方向に断続的に発生した雲は、海岸からいくらか離れたところで空間的にはスポット状に、時間的にはスコールのような降雨をもたらすため、内陸部では海塩粒子によるゲリラ的な被曝地帯が発生することになる。このことが熱帯地方の塩害と深く関係している可能性が高い。

発達した台風の影響を直接的に受ける沖縄地方では、金属材料や鉄筋コンクリートの塩害としての腐食劣化が深刻となっている。このことは、イベント的に発生する強風や高波のエネルギーと継続時間が他県と比較して圧倒的に大きいということと、狭い島嶼環境下に置かれているということの相乗効果として説明されるのが一般的である。

本研究では、甚大な塩害地帯といわれる南西諸島にお

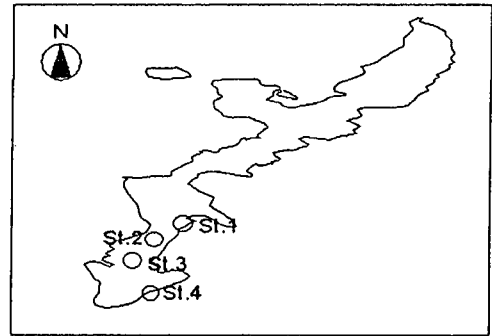


図-1 現地観測位置

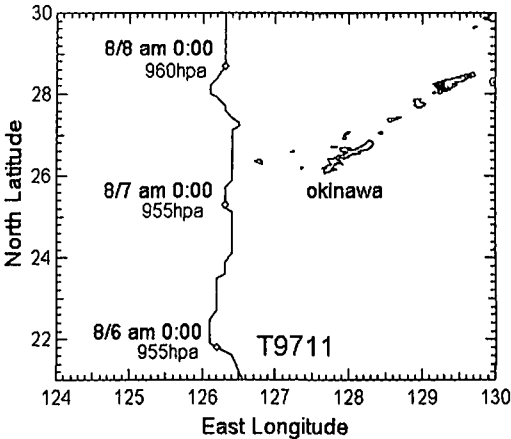


図-2 台風コース

* 正会員 工博 琉球大学助教授 工学部環境建設工学科
** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部環境建設工学科
*** 正会員 工修 郵政省沖縄電波観測所臨時
**** 工博 郵政省総合通信研究所沖縄電波観測所所長
***** 運輸省第四港湾建設局
***** 琉球大学工学部 環境建設工学科

いて、海塩が「強風時に発生する熱帯地方特有のスコールによってもたらされている」との仮定の基に、台風時及び前線性降雨時の大気中塩分量に関する現地観測を行い、強風に伴う飛来塩分量及び降雨中の塩分濃度特性を明らかにすることを主たる目的としている。

2. 現地観測場所及び方法

現地観測位置を図-1に示す。観測点 St. 1 は、沖縄本島中城村内の郵政省電波観測所内にある。この位置は沖縄本島を横断する断面で見ると、ほぼ最高峰に位置する。St. 2 は、琉球大学内にあり、北側の海岸線と南側の海岸線からの距離とのほぼ中間に位置する。また、St. 3 は前線性降雨の採取を行った場所であり、那覇市小緑に位置する。St. 4 は波浪の観測位置であり、具志頭村港川に位置する。

飛来塩分の採取にはガーゼ法を用いた。詳細は、仲座ら(1991)を参照して頂きたい。降雨の採取には、漏斗とピーカーを用いた。琉球大学で行った降雨の採取には、継続時間の短い初期降雨を解析するため、5分間測定により降雨強度と塩分濃度を求め、それを時間雨量に換算した。塩分濃度の測定は平沼式自動滴定装置を用い、NaCl 量及び Cl イオン量を硝酸銀水溶液を用いた滴定法により算出した。

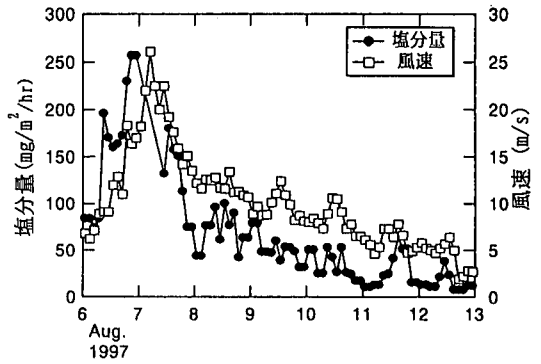
3. 観測結果及び考察

3.1 台風など強風時の大気中及び降雨中塩分量

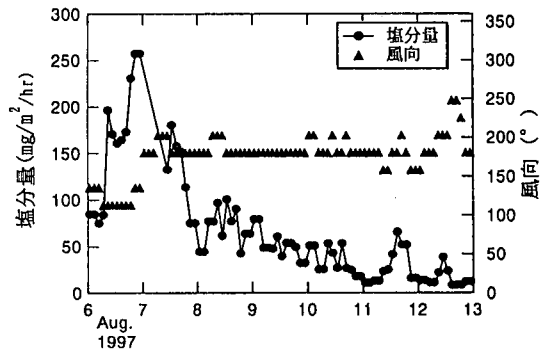
図-2に台風コースを示す。図-3に、台風 9711 号に伴う風向・風速、飛来塩分量、降雨強度、降雨中塩分濃度の経時変化を示す。図中風向は、北をゼロとして時計回りを正とした。また、塩分量としては NaCl 量を用いた。図-4に波浪の有義波高の経時変化を示す。

風速は、台風の接近につれて増大し台風通過後に減少している。風向は、接近時には南東であり、通過後は南よりの風となっている。飛来塩分量は、全体的には風速と比例して変化する傾向を示しているが、ピーク位置がずれるなど単純には比例していない。さらに、台風接近時は通過後よりも全体的に高くなっている。降雨強度は台風最接近時に集中的に強くなっているが、飛来塩分量をその降雨との関連でみると、降雨と共に減少しているように見える。また、降雨中塩分濃度は降雨初期に高く、台風の最接近時の強い降雨中は低くなっている。

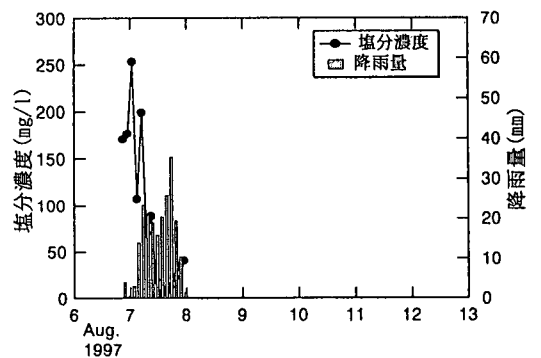
図-4に示す波浪の波高と飛来塩分量との経時変化を比べてみると、ピーク位置を除いて全体的な変化のパターンは非常によく一致している。例えば、風速と飛来塩分量との相関では説明がつかなかった「台風時の接近時に飛来塩分量が高めで、通過後に低めになっているというパターン」は、波高の変化パターンから説明できる。



(a) 塩分量・風速



(b) 塩分量・風向



(c) 塩分濃度・降雨量

図-3 T 9711. 飛来塩分量、風速、風向、降雨量の経時変化

台風接近時に波高が高くなっているのは、風域を離れた“うねり”が海岸にすでに到達していることを意味しており、飛来塩分量が風速のみでなく“うねり”の高さにも強く関係していることを示している。

台風通過後の風速を注意深く見ると、台風から吹き込む風が減少すると共に、周期的な変動を示していることに気づく。これは、海陸風による風系の変化を示しており、比較的強い一般風が存在するにもかかわらず、強い日差しのため海陸風が急激に復活したことを示している。こ

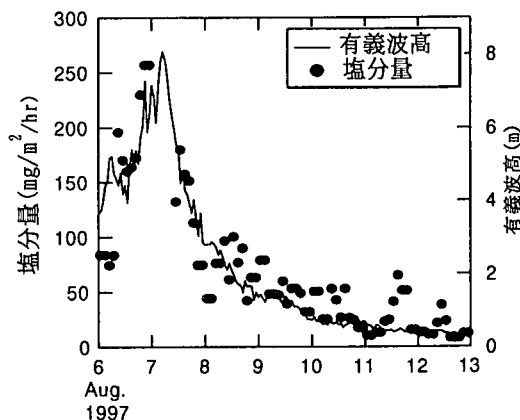


図-4 有義波高の経時変化
(T 9713)

の周期変動に伴い飛来塩分量も周期的に変化しており、海陸風がもたらす日中の飛来塩分量も比較的大きいことを示している。

図-5 に降雨中の塩分濃度の経時変化を詳しく調べるため、データサンプリングレートを短くして行った時の観測値を示す。図中には、8月6日の19時から8月7日の23時までの降雨強度、降雨中塩分濃度、風速強度の変化を示してある。7日午前2時頃まで断続的であった雨は、台風通過に伴い連続的で強い降雨となった。降雨中の塩分濃度は降雨初期に極めて高くなっており、まとまった降雨と共に急激に減衰している。また、降雨量がピークとなる13～17時においては、風速が降雨初期とほぼ同じであるにもかかわらず、降雨中の塩分濃度は初期降雨の1/25～1/50となっている。この落ち込みは大気中塩分濃度の減少により、落下雨滴がトラップする海塩粒子数の減少分としての説明も可能であろうが、図-3に示す飛来塩分量が降雨初期の約半分程度の減少量であることや、後述の前線性降雨中の塩分量変化とを考えると、この効果のみによる説明では不十分といえる。

この結果は、台風中心付近の雨と初期の雨との組成に大きな違いがあることを示唆している。すなわち、「降雨初期のスコール的な雨は、砕波により巻き上げられた飛沫から生じる巨大海塩粒子が、海岸部より発達する上昇気流にトラップされ、それを核とする発達期の雲が十分に上昇することなく、すぐに降雨となって降ったものである」との仮説が成り立つ。また降雨後期の大量の降雨は、遙か海洋で形成されたクラスターの固まりとして生じた台風本体の雲からの降雨であり、対流圏上層にまで達する雲からの雨は塩分濃度が低く、塩害としての観点から見れば希釈水や洗浄水的作用として働くものと考えられる。このことは、台風中心通過後の降雨の後半で降雨量が減少するにつれて塩分濃度が若干高まっていくこと

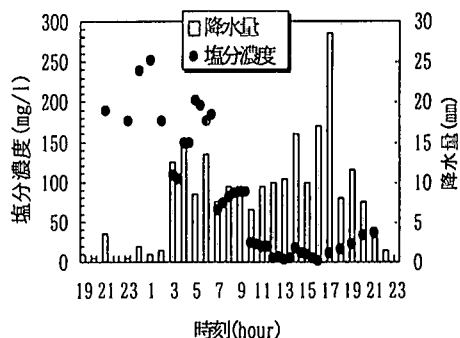
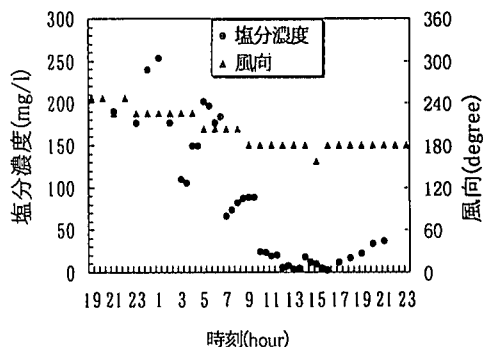
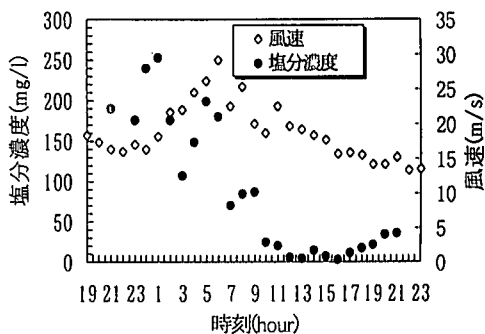


図-5 降雨中塩分濃度、風速、風向、降雨量の経時変化

からも説明される。

3.2 前線性降雨中の塩分濃度

図-6 に、12月8日に観測された前線性降雨に伴う塩分量の変化を示す。図-6には、順に(a)風速、(b)風向、(c)降雨強度、(d)降雨により降下した塩分量の経時変化を示した。この場合、台風時の雨と違い、降雨中の塩分濃度は揺るやかな変化を示しており、さらに台風降雨初期の塩分濃度よりもかなり低くなっている。図(a)を詳細にみると、風向・風速がほぼ一定にもかかわらず、塩分濃度は降雨が強くなるにつれてわずかに減少している。しかし、その変化の割合は台風でみられた変化よりも小さい。また、この時の塩分濃度は沖縄本島北部の河川水の年平均塩分量である30 mg/lにほぼ等し

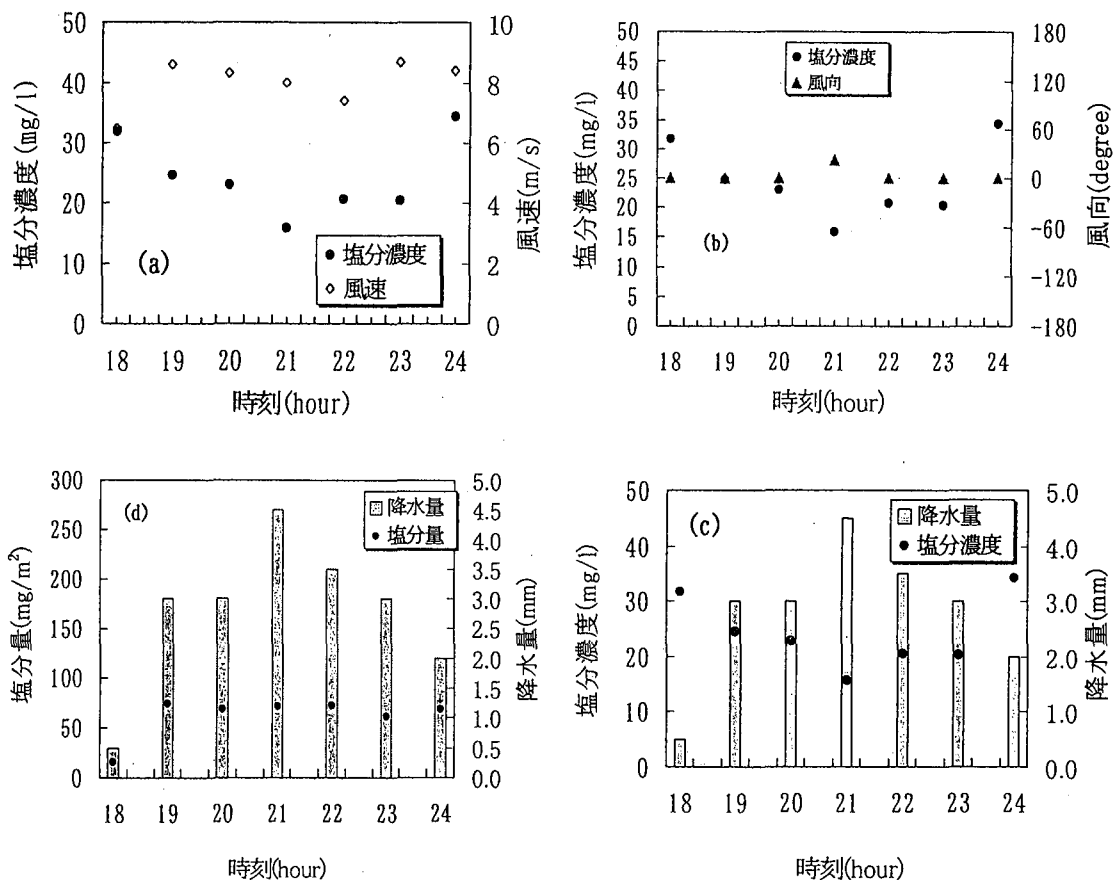


図-6 降雨中塩分濃度，風速，風向，降雨量による降下塩分量の経時変化

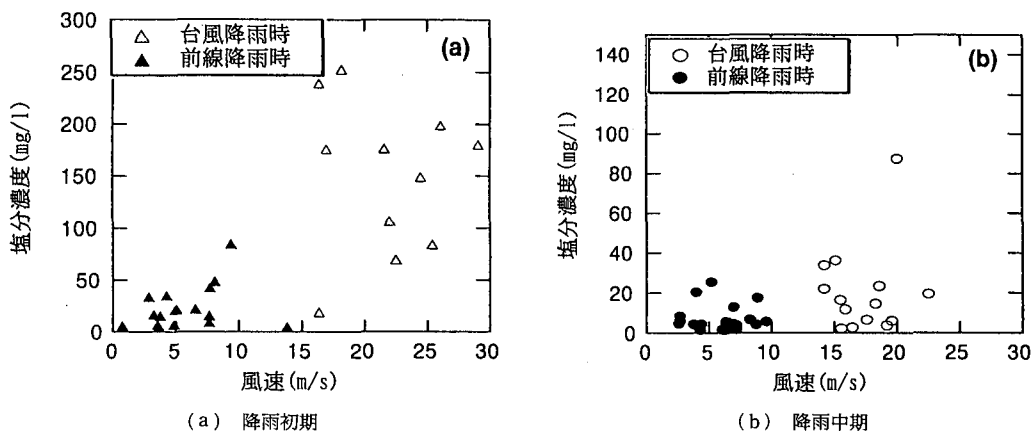


図-7 降雨中塩分濃度と風速の関係

くなっている。

3.3 降雨中塩分濃度と風速との関係

図-7に，降雨中塩分量と風速との関係を示す。図(a)は，降雨初期の塩分濃度であり，台風時と通常時の場合を示してある。図(b)は，ある程度連続して降雨があつ

た時の，降雨中期における塩分濃度と風速の関係を示す。図(a)に示す降雨初期の場合，全体的には風速と共に増大する傾向を示している。また，台風時は前線など通常時の濃度よりもかなり大きくなっている。大きなばらつきはあるが，台風時のデータは風速の大きさに伴う単純

な増大を示していない。すなわち、飛来塩分量が風速の1～3乗に比例する傾向にあることと異なり、降雨中の塩分濃度にはある上限が存在するようである。

これは、雨雲として上昇・輸送される雨粒の大きさの限界とその核となる海域粒子径との関係に起因するものと考えられるが明らかでない。

図(b)に示す降雨中期の塩分濃度も、わずかに風速と相関があることを示している。しかし、図(a)に示す降雨初期と全く異なり風速による大きな変化は現れていない。この図より、海塩に関し、台風中心の雨雲と前線の雨雲との組成がほぼ同じものとなっているものと推測される。

4. おわりに

本研究では、海岸からある程度離れ、山手や風の遮蔽域に入りながらも、台風通過後、金属類の発錆がただちに生じるのはなぜか？ 沖縄など南西地方の甚大な塩害の主要因は何か？ など、日常的に感じている塩害の問題に対し、「台風時など強風時に海岸部から急激に発生するスコールにそれを解き明かす鍵がある」との確信のもと、台風時の雨及び前線時の雨に含まれる塩分濃度や大気中塩分濃度を現地観測により明らかにした。その結果、台風接近時の初期降雨中の塩分濃度は前線性降雨中に含まれる塩分濃度の約10倍にも達すること、大気中塩分濃度は風速の大きさに比例すると共に、台風からのうねりの影響を大きく受けることなどを明らかにした。今後更に、詳細な現地データを得ることと、海陸風や斜面風、あるいは霧などがもたらす海塩量を明らかにする予定である。

る。

本研究の現地観測においては、当時卒業研究生であった辺土名朝洋・稲嶺盛次郎両名の協力を得た。また沖縄電波観測所には施設や観測装置などの提供など多大なご協力を頂いた。また、塩分等イオン測定にあたっては琉球大学環境建設工学科の大城武教授、山田義智助手のご協力を頂いた。さらに、本研究の一部は文部省科学研究費(代表：仲座栄三、課題番号：0945018)の援助を得ている。ここに記し、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 幸喜善福・島田賢司(1987): 強風(台風)時における宮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.
- 鳥羽一朗・田中政昭(1967): 塩害に関する基礎研究(第一報), 京都防災研究所年報, 第10号, pp. 71-118.
- 滝川 清・山田文彦(1996): 内海沿岸域における飛来塩分特性とその対策について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1176-1180.
- 仲座栄三・津嘉山正光・照屋雅彦(1990): 沿岸微気候の一要素としての飛塩量特性, 環境システム研究, Vol. 18, pp. 88-93.
- 仲座栄三・津嘉山正光・照屋雅彦(1991): 大気環境アメニティの一要素としての飛塩量特性, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 896-900.
- 仲座栄三・津嘉山正光・山路功裕(1993): 飛塩(海塩粒子)拡散の数値流体力学的解析, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 1036-1040.
- 浜田純夫・日野伸一・兼行啓治・長谷川博(1986): 海岸付近の飛塩調査とコンクリートに浸透する塩分, 土木学会代8回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 85-88.
- 山田義智・大城 武(1996): 海岸から飛来する塩分量の数値解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 1, pp. 945-950.