

定期漂着物モニタリングによる海洋ごみ大量漂流漂着警報の試み

藤枝 繁¹

Attempt at alert system of drifting marine litter by periodical monitoring on the coast

Shigeru FUJIEDA¹

Abstract

The west coast of Kyushu around Satsuma peninsula in Kagoshima was covered with substantial quantities of marine litter in August 1998. By this case, the periodical monitoring of marine litter began on the beach of Fukiagehama, Kagoshima prefecture. The section of monitoring site is 1,600 m in length from the river mouth of Kaminokawa to the south. The monitoring survey was carried out every month from Aug. 1998 to Dec. 2008. Collected abroad-induced indicator items were Chinese lighter (included Taiwan) and spindle-shaped plastic floats (orange and blue). Collected home-induced indicator item was Japanese lighter. Collected indicator item as hazardous waste (medical item) was syringe. Alert system statistically established warning and advisory of abroad, home-induced and hazardous waste by collected data from January 1999 to December 2007. Abroad-induced warning was issued at August-October 1998, July-September 2005 and July-September 2006. In these terms, floods have been caused at abroad.

Key words: float, Fukiagehama, lighter, marine litter, monitoring

はじめに

海洋ごみの大量漂着は、(1)発生源に大量のごみが「存在」し、(2)それが台風、大雨等によって海洋に「流出」し、(3)海流、風等によりある程度の塊となって「漂流」し、最後に(4)漂流物が風等により陸に吹き寄せられて「漂着」して初めて発生となる。これまで数値シミュレーションを用いて、日本海・東シナ海 (いであ 2008)、東シナ海 (張ら 2008)、太平洋 (Kubota *et al.* 2005)、伊勢湾 (目黒ら 2006)、瀬戸内海 (橋本ら 2008) における海洋ごみの「漂流」の過程に関する知見は蓄積されてきた。しかし発生地を外国とする大量漂着の場合、発生源におけるごみの「存在」の有無と、ごみの海洋への「流出」を確認することができないため、海岸に大量のごみが漂着するまで、その「発生」を知ることができない。しかし(1)(2)に関する情報がない場合でも、流出地付近、もしくは漂流経路の上流域において定期的にごみの漂流の有無を監視することができれば、下

流域への漂着を事前に予測することは可能である。

鹿児島大学水産学部航海情報研究グループ「海ごみ研究室」では、薩摩半島西岸吹上浜中央部に位置する鹿児島県日置市二湯海岸において、1998年8月の海洋ごみの大量漂着事件 (藤枝 1999) 以降、毎月一回、指標漂着物の採集調査 (定期定点モニタリング) を実施してきた (藤枝 2005)。吹上浜には、日本海や太平洋沿岸に漂着するもの (藤枝ら 2006; 藤枝・小島 2006) と同じ台湾や中国華南・華東地方を起源とする海洋ごみが漂着することから (藤枝 2003)、日本沿岸を北上する海洋ごみの流れの上流域にあたると言える。そこで本研究室では、被害が予想される大量ごみの漂着について、一定の科学的根拠に基づいて迅速に注意を喚起するため、このモニタリングで得られた情報を使い、九州西岸、北岸、本州日本海沿岸およびそれら周辺海域を対象に「海洋ごみ大量漂流漂着警報」 (<http://seafrogs.info/>) を提供することにした。

本報では、この警報システムの概要について述べ、

¹ 鹿児島大学水産学部 〒890-0056 鹿児島市下荒田4-50-20

¹ Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20, Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan

その活用について考察する。

方 法

モニタリング方法 定期モニタリングを実施している海岸は、図1に示す鹿児島県薩摩半島西岸吹上浜のほぼ中央部に位置する日置郡日吉町（現日置市）二湾海岸で、砂丘部につながる砂浜海岸である。調査区間は、神之川（二級河川）河口を起点に、南へ1,600mの区間とし、奥行きは、波打ち際から砂浜背後の浜崖の間（広いところで約40m、通常約20m）とした。調査海岸の選定は、砂浜であり、前面に障害物がなく、海岸形状による影響を低減するため調査海岸延長が500m以上とれるという条件とした。なおこの沿岸では、冬季にNNWを中心とした季節風が強い。そのため、この海岸では全体として南下する方向に強い飛砂が発達する特徴がある（西ら1998）。

調査対象とした指標漂着物（藤枝 2005）は、流出地情報を持つディスプレイライター（使い捨てライター）のうち、(1)国内を起源とするもの、(2)中国・台湾を起源とするもの、(3)台湾製オレンジ浮子（以下「オレンジ浮子」と呼ぶ）、(4)中国製ブルー紡錘形浮子（丸、角）、同分銅型浮子、同豆型浮子（ウキウキ辞典 2007）（以下「ブルー浮子」と呼ぶ）、

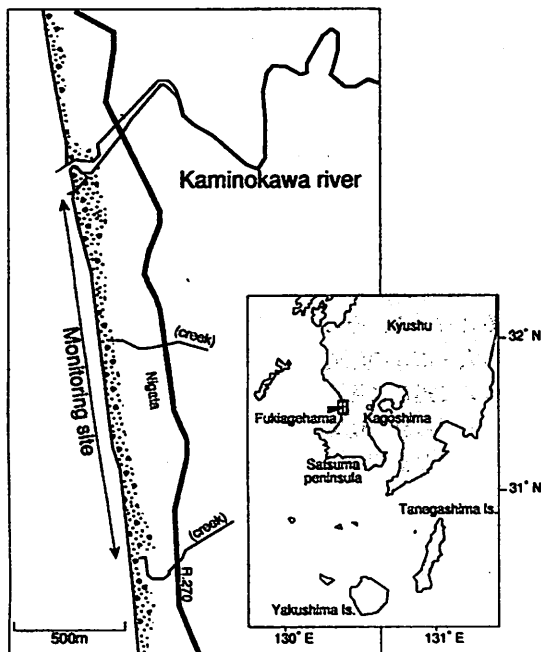


図1. 調査地点

(5)危険物として医療廃棄物の中でも感染症の危険性をもつ「注射器類」（ピストン、本体、針、針キャップの単独部品も含む）の計5種類とした。これら指標漂着物は、いずれもプラスチック製品であり、小型ながら十分な浮力を持ち、一部は派手であることから、海岸で発見され易く、採集作業や海岸での運搬が容易であるという特徴をもつ。なおディスプレイライター（以下ライターと呼ぶ）は、藤枝（2003）の分類法に従い、タンク底面や金属風防に刻印された記号から消費製造国（流出国）を判別した。以下、日本、中国（台湾を含む）を流出国とするライターをそれぞれ「日本ライター」、「中国ライター」と呼ぶ。

上記5種類の指標漂着物の採集は、毎月1回20日を基準にその前後を定期調査日とし、調査員1～3名によって実施した。なおここでは1ヶ月間に漂着・再流出を繰り返した結果、前月調査日から1ヶ月かかって堆積したものを（月間）漂着量として定義した。

警報等の種類 海洋ごみの大量流出および大量漂着に関する警報等には、「大量漂流（流出）漂着警報」と「漂流（流出）漂着注意報」を設けた。

まず100ヶ月間に1度の規模（発生率1%）の海洋ごみの大量漂着が発生した場合、またはそのような漂着が継続していることが疑われる場合を「警報」とした。この警報は、モニタリング地点周辺海岸における現状を示すだけでなく、時間の経過により、今後、モニタリング地点の流下側にあたる九州西岸、九州北岸および日本海沿岸においても、海洋ごみの大量漂着が予想されることを警告するものである。

また20ヶ月に一度の規模（発生率5%）の海洋ごみの大量漂着が発生した場合を「注意報」とした。これは、警報規模の大量漂着には至らなかったが、大量に沖合を通過している可能性がある、もしくは漂着量の月変化のピーク値を示すものである。

なおこれら警報・注意報には、海外起因の越境ごみの大量漂流漂着についての「越境ごみ大量漂流漂着警報・注意報」、国内起因ごみの大量流出・漂流漂着についての「国内起因ごみ大量流出漂着警報・注意報」および注射器、薬品瓶等の危険物の漂着についての「危険ごみ漂着警報・注意報」の3種類を設けた。

警報等の基準値の設定 警報等の基準値の設定に用いた標本データは、1999年1月から2007年12月までの過去9年間（108ヶ月分）の指標漂着物の採集量

(個数)とした。なお調査日直前に台風の接近が予想された場合(2001年8月, 2002年7月)は、高波による漂着物の再流出を防ぐため、また調査日直前に海岸清掃の予定があった場合(2001年4月)は、人為的な漂着量の変化を押さえるため、それぞれ定期調査日外にも採集し、定期調査の結果に合算した。警報及び注意報の各基準値は、標本データを自然対数に変換し、そこから求めた平均値と標準偏差を使って正規分布の片側1%, 5%の発生率から求めた。

警報等発令の仕組み 警報の発令は、毎月一回行われる定点でのモニタリングで採集された指標漂着物(越境ごみの場合は、三種類のいずれか)の採集個数(漂着量)が、警報発令の基準値(発生率1%)以上となった場合とした。また前月に警報が発令されていた場合は、翌月の指標漂着物(越境ごみの場合は、三種類のいずれか)の採集個数が警報継続の基準値(発生率5%)以上であれば、警報発令を継続することとした。注意報の発令は、前月に警報が発令されておらず、かつ毎月一回行われる定点でのモニタリングで採集された指標漂着物の採集個数が注意報の基準値(発生率5%)以上となった場合とした。

結 果

警報等発令の基準値 標本データ採集期間中に採集された指標漂着物5品目の総数、1回の調査で各指標漂着物が1個以上漂着する(採取される)確率(漂着率)、月平均漂着個数、月最大漂着個数等の漂着概要を表1に示す。サンプル総数が最も多かったのは、オレンジ浮子で4,174個、続いて日本ライターで1,809個であった。また漂着率は、日本ライターとオレンジ浮子がそれぞれ100%, 99%となり、ほぼ毎月漂着していた。危険物である注射器は、33%と最も漂着率が低かった。警報等の基準値の一覧を表2に示す。

警報等の発令状況 1998年8月の調査開始からの2008年12月までの日本ライター・中国ライターの漂着量の月変化および警報等発令に該当する月を図2に示す。11年間の漂着傾向を見ると、吹上浜における海洋ごみの大量漂着は、毎年夏から秋にかけて発生し、その量は年によって大きく異なる。また警報は注意報の後に発生することはなく、突然発生することがわかる。

国内起因ごみでは、1998年8月からの11年間に警報が2005年9月の1回、注意報が1998年10月、1999

表1. 標本データに使用した指標漂着物5品目の漂着概要

指標漂着物	サンプル数	漂着率(%)	平均漂着 個数	最大漂着 個数	最大漂着年月
オレンジ浮子	4,174	99	38.6	421	Jul. 2005
ブルー浮子	864	76	8.0	102	Jul. 2006
中国ライター	937	91	8.7	201	Jul. 2006
日本ライター	1,809	100	16.8	144	Sep. 2005
注射器類	59	33	0.5	6	Aug. 2005, Jul. 2006

標本データ採集期間 (Jan. 1999-Dec. 2007)

表2. 海洋ごみ大量漂着警報・注意報等の基準値(単位:個)

警報名	指標漂着物	警報		注意報
		初回発令 (発生率1%)	継続発令 (発生率5%)	初回・継続発令 (発生率5%)
越境ごみ 大量漂流漂着 警報・注意報	中国ライター	58	27	27
	オレンジ浮子	344	136	136
	ブルー浮子	76	33	33
国内起因ごみ 大量流出漂着 警報・注意報	日本ライター	89	49	49
危険ごみ 漂着警報・ 注意報	注射器類	5	4	4

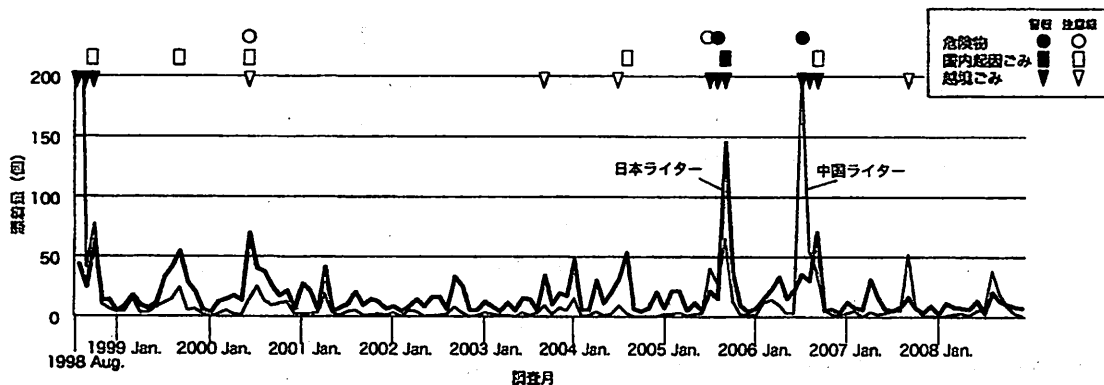


図2. 1998年8月の調査開始からの2008年12月までの日本ライターと中国ライターの漂着量の月変化および各ごみ大量漂着警報・注意報の発令月

年9月, 2000年6月, 2004年8月, 2006年9月の5回発令されたことになる。また越境ごみでは, 警報が1998年8-10月, 2005年7-9月, 2006年7-9月の3期間, 注意報が2000年6月, 2003年9月, 2004年7月, 2007年9月の4回発令されたことになる。国内起因ごみと越境ごみの大量漂着漂着警報・注意報が重複して発令されたのは, 越境ごみ大量漂着漂着警報が発令された3期間内および注意報が発令された2000年6月であった。一方, 危険ごみ漂着警報・注意報が発令されたのは, 越境ごみ大量漂着漂着警報が発令された2005年, 2006年の2期間, および国内起因ごみ流出漂着注意報・越境ごみ漂着漂着注意報が発令された2000年6月であった。

指標漂着物の年間漂着量の変化を図3に示す。指標漂着物の年間漂着量は, 一月で454本(海岸長さ700m)のライターが採集された1998年8月の大量

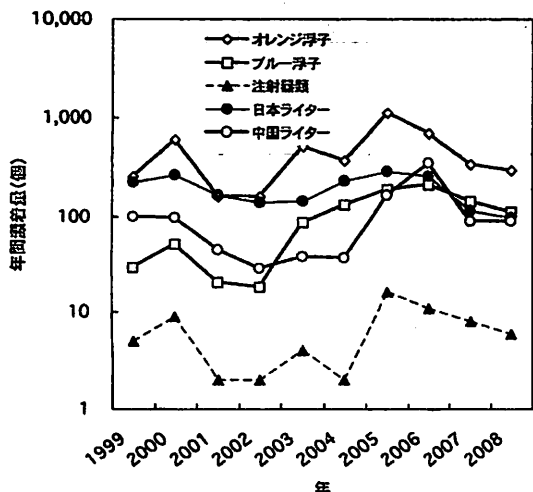


図3. 指標漂着物の年間漂着量の変化

漂着事件後(藤枝1999), 2002年にすべての品目で最小となった後, 再び増加傾向を示し, 越境ごみ大量漂着漂着警報が発令された2005年, 2006年にピークを迎えた。その後, 各漂着量は再び低下しているが, 2002年の値より低いのは日本ライターのみである。このように漂着量は, 月間の大量漂着の影響を受け, 年変動していることがわかる。

漂着ライターの流出地 藤枝(2003)の手法に従い, 2003年8月から2008年12月の間に採集された2,300本のライターから, 漂着ライターの流出地(配布地)を求めた。流出地が判別された238本のライターの流出地分布を図4に示す。これよりモニタリング地点に漂着するライターの主な流出地は, 海外では台湾および上海から香港までの中国沿岸都市(中国全

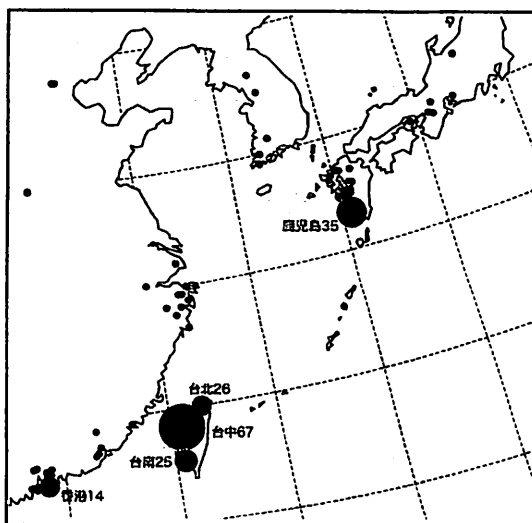


図4. Aug. 2003-Dec. 2008に採集された漂着ライター(2,300本)の流出地(配布地; 238本)の分布

体の89.0%)であり、国内では鹿児島県が国内全体の64.3%、続いて熊本県が16.1%を占めた。

考 察

これまでの大量漂流漂着警報発令時における特筆すべき自然災害を表3に示す。1998年、吹上浜では海洋ごみの大量漂着があった(藤枝 1999)。この年、京都府京丹後市琴引浜においても、中国ライターの漂着量は前年の約2倍に増加している(安松・東山高等学校地学部 2008)。2000年、琴引浜では、中国ライターが1998年の2倍に増加した(安松・東山高等学校地学部 2008)。この年、吹上浜では警報こそ発せられなかったが、7月に越境ごみ、国内起因ごみ、危険物それぞれに対して漂流漂着注意報が発令された。2005年、吹上浜では中国ライターが前年度に比べ大幅に増加した。この傾向は琴引浜においても同じであった(安松・東山高等学校地学部 2008)。2006年7月、台風4、5号による中国大陸での豪雨の後、吹上浜では越境ごみ大量漂流漂着警報が発令された。その後、長崎県五島地方に大量の大型流木が漂着する事件が発生している。

このように各調査月のデータを、基準値を用いて評価することにより、海洋ごみが北上していく兆候を把握することができると言えよう。よって九州西岸、北岸および日本海沿岸地域での海洋ごみの大量漂着を早期に把握するためには、漂流経路の上流側

での漂着状況を定期的に監視することが重要となってくる。ただし漂着は、漂流過程の最終結果であるため、1地点でのモニタリングでは、漂着せずに「通過」してしまう場合や、過去に海域に流入したものが「滞留」し、それが漂着するといった場合、もしくは「他経路」による漂着やモニタリング地点よりも下流側に「発生源」が存在するといった問題点を指摘することはできない。また海洋ごみの大量漂着の発生には、前述した起因地にごみの「存在」があり、それが「流出」、「漂流」して「漂着」といったすべての条件が揃う必要がある。よって大量漂着を日本沿岸で事前に予想するためには、(1)発生源に近い地点(例えば、越境ごみの発生域である中国大陸および台湾に最も近い沖縄県与那国島、朝鮮半島に最も近い長崎県対馬)、(2)海流による漂流経路上で日本本土に最も近い地点(例えば、黒潮と対馬暖流の分岐点にあたる鹿児島県種子島、東シナ海から大陸沿岸流の最上流である長崎県五島)、(3)同経路上で他海域と接続する地点および経路上でそれ以降降陸地がなくなる地点(例えば、津軽海峡の青森県津軽半島、下北半島、東京都小笠原諸島)において定期モニタリングを実施することが必要である。また(4)上記モニタリング地点の間にも数カ所モニタリング地点を設置し、隣接する定点における漂着量の変化を時間軸上で監視することによって、漂流物の追跡や漂流速度・流向などの漂着物の流れを把握することも必要である。

表3. 過去の警報発令と大量漂着事例および自然災害

年	警報発生月	警報種類	大量漂着事例	自然災害
1998年	8-10月	越境ごみ	8/20 薩摩半島西岸から九州西岸に大量の中国台湾系ごみが漂着した。	長江中流域の中国江南(浙江省、江西省、湖南省)では、豪雨により7/23より2ヶ月以上警戒水位を超える高水位が続く。この洪水による死者は1,320人にのぼった。(新井他 2004)
2005年	7-9月	越境ごみ	8月以降、大量の中国系ごみが日本海沿岸に漂着した。	中国華南(広東省)で5月末からの大雨で大きな被害が発生。
	8月	危険ごみ		台風14号により、9/3-9/8九州・四国・中国地方で長時間にわたる暴風雨、高波により大きな被害発生。(牛山・吉田 2006)
2006年	9月	国内起因ごみ		
	7-9月	越境ごみ	7月以降、九州西岸、長崎県五島に大量の中国系ごみや大型流木が漂着した。	台風4号は台湾北部を通過し、7/14に福建省に上陸。福建省、広東省、湖南省、浙江省などで豪雨。続く台風5号も台湾南部に上陸後、福建省東南部に上陸。福建省、広東省東部、浙江省南部、江西省南部で豪雨となる。(中国国際放送 2006)
	7月	危険ごみ		国内では7/15-24に梅雨前線の影響で豪雨となり、鹿児島県北西部で浸水被害が発生した。(牛山・園分 2006)

ただし今回示した警報注意報発令の基準値は、当海岸でのみ有効であり、他の海岸では使用できない。よって各地で実際に本システムを稼働させるためには、基準値設定までに最低2年間(24ヶ月)はデータを継続して取得する準備期間が必要となってくる。

一方で、これまで国内で10年以上、月一回の頻度で定期的実施されている海岸漂着ごみのモニタリング地点は、1993年から開始された安松・東山高等学校による京都府丹後半島の琴引浜(安松・東山高等学校地学部 2009)と1998年から開始された当地点(藤枝 2005)の2カ所のみである。これまで海岸漂着ごみの定期モニタリングでは、田島・横井(2004)による日単位での採集調査や、漂流・漂着ゴミに係る国内削減方策モデル調査総括検討会(2009)によるウェブカメラを使った日単位での目視調査が行われてきたが、前者のように採集を伴う場合は、実施労力が大きいため継続が難しく、また後者の場合も、漂着量の監視はできても、その構成等の情報を得ることはできないといった問題点をもつ。安松・東山高等学校(2009)、藤枝(2005)による両地点でのモニタリングの共通点は、採集物を流出国が判別できるものに限って採集労力を軽減させ、浜全体の広範囲を対象としている点にあり、それによって地形による要因をできるだけ排除してサンプル数を確保し、調査間隔を短くして情報の更新性を高めている点にある(藤枝・太田 2006)。

以上より、大量漂着の監視および予測という目的を持った今後の漂流漂着ごみの定期モニタリングでは、上記提案した地点において、共通した指標漂着物を採集し、統一された評価手法を用いることにより、広域で結果を連携しながら継続して利用できる仕組みを構築することが望まれる。

謝 辞：本研究の一部は、(社)海と渚環境美化推進機構平成16-20年度海浜ゴミ集積調査費により実施した。

引用文献

新井 正・原 美登里・元木理寿 2004. 中国江西省の水分気候. 地球環境研究 16 : 139-146.
 中国国際放送 2006. 7.25 (<http://japanese.cri.cn/151/2006/07/25/1@69101.htm>)
 張 弼勁・磯辺篤彦・松野 健・清水 学 2008. 東シナ海における漂流ブイの追跡モデルとその応用. 沿岸海洋研究 45(2) : 125-135.
 藤枝 繁 1999. 1998年8月鹿児島県薩摩半島沿岸に漂着した大量ゴミの実態. 水産海洋研究 63 : 68-76.

藤枝 繁 2003. ディスポーザブルライターを指標とした海岸漂着散乱ゴミの流出地推定. 漂着物学会誌 1 : 13-20.
 藤枝 繁 2005. 鹿児島県吹上浜における指標漂着物を用いた海岸漂着ごみの定期モニタリング. 漂着物学会誌 3 : 19-24.
 藤枝 繁・小島あずさ 2006. 東アジア圏域における海岸漂着ごみの流出起源の推定. 沿岸域学会誌 18(4) : 15-22.
 藤枝 繁・小島あずさ・兼広春之 2006. ディスポーザブルライターを指標とした海岸漂着ごみのモニタリング. 廃棄物学会論文誌 17(2) : 117-124.
 藤枝 繁・太田英里 2006. 砂浜海岸における漂着物の分布特性. 漂着物学会誌 4 : 19-24.
 橋本英資・谷本照己・星加 章・高杉由夫 2008. 瀬戸内海における漂流予測モデルによる海洋ごみ分布域の推定. 海岸工学論文集 55 : 401-405.
 漂流・漂着ゴミに係る国内削減方策モデル調査総括検討会 2009. 第II章 漂流・漂着ゴミに関する技術的知見. 1. 漂着ゴミの量及び質, 1.1.2 経時変化. 平成19年度 平成20年度 環境省委託業務漂流・漂着ゴミに係る国内削減方策モデル調査総括検討会報告書. 10-19.
 いであ株式会社 2008. 平成19年度漂流漂着ゴミに係る国際的削減方策調査業務報告書. 181pp.
 Kubota, M., Takayama, K. and Namimoto, D. 2005. Pleading for the use of biodegradable polymers in favor of marine environments and to avoid an asbestos-like problem for the future. Appl. Microbiol. Biotechnol. 67 : 469-476.
 目黒邦夫・佐藤真司・鯉淵幸生 2006. 海岸に漂着する流木群の挙動解析. 海岸工学論文集 53 : 1301-1305.
 西隆一郎・宇多高明・佐藤道郎・西原幸男・井之上由人 1998. 吹上浜海岸における汀線と海岸植生および砂丘林限界の長期変動特性. 海岸工学論文集 45 : 661-665.
 田島迪生・横井将大 2004. 能登半島の内浦町海岸におけるごみ調査-I ごみの数量と気象・海象との関係. のと海洋ふれあいセンター研究報告 10 : 11-36.
 ウキウキ辞典 2007. (<http://ukijiten.exblog.jp/>)
 牛山繁行・國分和香那 2006. 平成18年7月豪雨による災害の特徴. 自然災害科学 25(3) : 393-402.
 牛山繁行・吉田淳美 2006. 2005年9月の台風14号および前線による豪雨災害の特徴. 自然災害科学 24(4) : 487-497.
 安松貞夫・東山高等学校地学部 2009. 琴引浜で漂着物調査を15年間続けて 琴引浜の研究-その8-. 東山学園研究紀要 52・53 : 61-85.

(Received Aug. 8. 2009; accepted Oct. 28. 2009)