

マレーシア沿岸海域の海洋汚染と人間生活の調和

Marine pollution and human life in the coastal area in Malaysia

- 研究代表者 鹿児島大学理学部地球環境科学科教授 市川 敏弘
Prof., Department of Earth & Environmental Sciences, Faculty of Science,
Kagoshima University
Toshihiro Ichikawa
- 共同研究者 鹿児島大学理学部地球環境科学科教授 坂元 隼雄
Prof., Department of Earth & Environmental Sciences, Faculty of Science,
Kagoshima University
Hayao Sakamoto
- 鹿児島大学理学部地球環境科学科助教授 佐藤 正典
マレーシア農科大学教授 Law Ah Theem
University Pertanian Malaysia, Prof.
- マレーシア農科大学助教授 Fatimah Yusoff
University Pertanian Malaysia, Asso. Prof.
- マレーシア農科大学助教授 Noor Azhar
University Pertanian Malaysia, Asso. Prof.
- マレーシア農科大学講師 Lokman Husain
University Pertanian Malaysia, Lecturer

Malaysian coastal waters are an important resource not only for human life in Malaysia but also for an international commercial shipping lanes. The coastal environment of Malaysia would be vulnerable to marine pollution because of the shallow water depth in the Strait of Malacca and the South China Sea. Studies on marine pollution and human life were carried out from 1995 to 1996 by cooperation of the scientists in Kagoshima University and University Agriculture Malaysia. Field studies were done at Port Dickson (Strait of Malacca) and Kuala Terengganu (South China Sea). The project included mercury contents, hydrocarbon distribution, heavy metals, organic matter in sea water and sediments. Benthic animals and plankton species were also examined for biological study in relation to marine pollution. We would like to focus attention on the mercury contents and organic carbon and nitrogen in the present report. Most of the mercury in sea water was inorganic mercury and there was an extremely small fraction of organic mercury. However, a chemical form of mercury in fish meat was organic mercury. Organic carbon and nitrogen concentrations in particulate matter in sea water and sediments were higher in the Malacca Strait compared with the South China Sea. Our data provides a baseline information on the state of marine pollution of the coastal waters of Malaysia.

研究目的

マレーシアはマレー半島とボルネオ島に領土を持つ国であり、政治経済および工業の中心は半島マレーシアにある。半島マレーシアは西側はマラッカ海峡、東側は南シナ海と接している。マラッカ海峡はタンカーなど大型船舶の航行が多い交通の要所であり、またマレーシアの大都市や工業団地がマラッカ海峡側に集中している。一方、南シナ海側は農業と漁業が重要な産業ではあるが、近年大規模な海底油田が発見されたことにより、特にこの10年間で急速に工業化されてきた。現在マレーシアはかつての日本のような高度成長期にあり、経済成長を続けているが、その結果、大気や海洋の汚染が深刻になっている。

一般に大気汚染は人間の持つ感覚で鋭敏に察知できるものであるが、海洋汚染は、進行の経過が見えにくい。したがって、水俣病の例に見られるように、食物連鎖を通じて人間になんらかの影響が出始めた時にはすでに取り返しのつかない事態になっていることが多い。

マレーシアの海洋環境は急速に変わりつつあると予想されるが、海洋の研究者が少ないため、海洋汚染の研究はきわめて少ない。このような背景から、以前から交流のあるマレーシア農科大学の海洋研究者との共同研究を計画した。研究の目的は、マレーシア沿岸域の海洋汚染の実態を把握し、このデータを基礎にして汚染が人間生活を含めた生態系に与える影響を評価することである。

研究経過

調査海域は、マラッカ海峡に面したポートディクソンと南シナ海側のクアラトレンガヌの2ヶ所に設定した。メンバーは鹿児島大学理学部から3名、マレーシア農科大学から4名の計7名で編成した。主な調査

項目と分担者は次のとおりである。

1. 海水の懸濁物と海底堆積物に含まれる有機物の測定(市川)、
2. 海水、堆積物、および生物に含まれる水銀等汚染物質の測定(坂元)、
3. ゴカイ、カニ等底生生物の分布と分類(佐藤)、
4. 海水と堆積物の石油系炭化水素の分析(Law)、
5. 海水、堆積物、および海洋生物に含まれる重金属(Noor Azhar)、
6. 水温、塩分、海底地形、粒度分布等物理環境(Lokman)、
7. プランクトンの分布と分類(Fatimah)。

野外調査は、1995年9月17日～30日、および1996年7月21日～8月4日の期間に行なった。調査場所は農科大学の研究施設があり、研究代表者(市川)がかつて勤務していた大学でもあるので、調査船や実験室の利用なども含めて調査はきわめて順調に進行した。

研究成果

2年間の共同研究は無事終了し、それぞれの研究者によって上記調査項目のデータが提出された。この結果は近い将来国内外の学会で発表され、また論文として印刷されていく。今年度8月マレーシアで「海洋科学に関する国際学会」が開催されるが、ここで研究成果の一部が二つのテーマとして発表される。ここでは7名分の研究成果全部を具体的に述べるスペースはないので、国際学会で発表される内容をに中心に説明したい。

まず最初に環境汚染の最も重要な指標である、海水、海洋および河川の底質、海洋生物、土壌、および大気に含まれる水銀含有量について述べる。水銀濃度は非常に低レベルであるので、採集から分析に至るまでの過程で特別の注意を要する。水銀の分析は、還元気化と加熱気化法を用い、この方法で得られた水銀蒸気を多孔質金捕集剤で濃縮した。この捕集剤を加熱し、発生し

た水銀蒸気を冷原子吸光光度法により定量した。水銀は総水銀だけではなく、無機水銀と有機水銀の化学形に分けて測定した。

海水に含まれる総水銀は1.6~52.0 ng/lの変動を示した。このうち、無機水銀は1.4~41.0 ng/lであり、したがって海水に含まれる水銀はほとんど無機水銀であり、有機水銀の占める割合はきわめて少ないことが明らかになった。水銀濃度の平均値(幾何平均)を比較すると、マラッカ海峡側では南シナ海よりも濃度が高く、総水銀ではそれぞれ4.0 ng/lおよび3.4 ng/lの値を示した。これらの沿岸海域の測定値は外洋海域の値よりも高く、たとえば東シナ海の外洋域で報告されている値と比較すると約2倍高い値であった。

海底堆積物、海砂、および河川堆積物等採集されたすべての試料に含まれる総水銀は4.2~163 $\mu\text{g}/\text{kg}$ で変動した。最も高い値は上流に大きな工業地帯がある河川の底質で測定されたものであり、これを除くと4.2~60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。海底堆積物について比較すると、マラッカ海峡では27~60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、南シナ海では4.2~27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ の値を示し、明らかに大都市や工業地帯を多く控えるマラッカ海峡側で濃度が高い。しかし、これらの値は、坂元らによってすでに報告された海洋の底質の値と比較すると、沿岸域の一般の値と比べて特別高いものではない。底質の水銀濃度は局所的な分布を示すことがあるのでより詳細な検討が必要であろう。

海洋環境に入った水銀は、植物プランクトンを出発点とする生態系の食物連鎖に組み込まれ、化学形を変えたり濃縮されたりして、最終的には魚類など上位の栄養段階の生物に蓄積される。そこで、マラッカ海峡と南シナ海で採取された魚およびカニなど19種類の生物について無機水銀および

有機水銀の含有量を測定した。その結果、魚肉やカニ1kg(湿重量)あたりに含まれる総水銀濃度は13~229 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、このうち有機水銀は4~154 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であり、魚肉等に含まれる水銀は有機水銀が大部分であり、無機水銀の占める割合が少ないことが特徴的であった。また、サメやカニのように食物連鎖の上位にあつて肉食性の動物は他の魚種よりも比較的水銀含有量が高い。このことは、海洋の食物連鎖を通じて水銀が生体中に濃縮されている事実を示すものである。

マレーシアでは水産物が重要な食料であり、特に調査を行なった東海岸のトレンガヌ州は漁業が盛んである。今回の測定結果は、沿岸魚類一般に含まれる値としては高いものではない。しかし、産業の発展と共に環境水中に排出される水銀も多くなる可能性があることや、魚類に含まれる水銀が有機水銀であることなどから、今のうちから環境や生物の水銀をきちんとモニターしておく必要がある。

首都クアラルンプール、ポートディクソン、およびクアラトレンガヌの大気中の水銀濃度の測定結果は、4~29 ng/m^3 であり、大気汚染が著しい首都で特に高いという傾向は見られなかった。日本の大気の水銀濃度(1~3 ng/m^3)に比べるとかなり高い値であるが、この理由は熱帯マレーシアは年間を通して気温が高いからであると考察された。

次に底質と海水の懸濁物に含まれる有機物濃度について述べたい。海水や底質には有機物が含まれており、その起源はプランクトンなど生物であるが、沿岸海域では人間活動によってもたらされた有機物も重要である。すなわち、有機物濃度は海洋環境の富栄養化や汚染の進行に深く関係する。有機物濃度はパーキンエルマー2400型元素分析計を用いて分析し、有機炭素および

窒素として定量した。底質に含まれる有機物含有量は有機炭素で0.032~0.75%、窒素では0.026~0.064%であった。底質の平均値を比較すると、マラッカ海峡では有機物含有量が高く(炭素0.61%、窒素0.054%)、南シナ海側では低い値(炭素0.122%、窒素0.028%)を示した。これらの値は日本沿岸たとえば瀬戸内海の底質よりも低い。

一方、海水の有機懸濁物に含まれる炭素および窒素濃度は、102~404 $\mu\text{gC/l}$ 、1~102 $\mu\text{gN/l}$ であった。有機懸濁物濃度の平均値もマラッカ海峡側で325 $\mu\text{gC/l}$ および69 $\mu\text{gN/l}$ で、南シナ海(182 $\mu\text{gC/l}$ 、7 $\mu\text{gN/l}$)よりも明らかに高い値を示した。これらの値は、以前筆者らが測定した南シナ海外洋域の値よりも1桁高い。一般に有機懸濁物濃度は植物プランクトンの一次生産と関係するので、この結果は沿岸海域の高い生産性を反映しているものであろう。

底質と海水の懸濁物に含まれる有機物濃度は日本沿岸域と比べて低い。この理由は、マレーシアが熱帯海域であって富栄養化がそれほど進行していないことと、水温が年中高い環境にあるため有機物の分解速度が速いことなどによると思われる。

今回測定された水銀や有機物など汚染に関係する成分の人間活動による影響を定量化することは困難であるが、船舶の通行が多くまた大都市や工業地帯が多いマラッカ海峡側で濃度が高い結果から考えると、産業の発展と海洋汚染とが深く関わっていることが明らかである。

今後の課題と発展

今回の共同研究でマラッカ海峡と南シナ海沿岸の海洋汚染に関する基礎的資料が得られた。このデータを出発点として、環境と人間生活の調和を考察し、環境保全に関する提言を行なっていきたい。フィールドワークは試料の採集から分析に至るまで、

天候や試料の運搬・保管などさまざまな困難が伴う。また重金属など超微量成分の分析には特別の配慮が必要である。フィールドワークは労力の割には得られるデータは多くないが、しかしそのとき取っておかなければ永久に得られない。全体を把握するために調査海域を増やすことももちろん重要であるが、継続的な調査が最も重要である。海水や底質に含まれる成分も時間的な変動があるし、魚類等生物に含まれる成分も生活史の中で大きな変化を示すはずである。幸いマレーシアの研究者とは信頼関係が成立しているので今回の経験を基に共同研究を継続させるつもりである。

今年度国際協力事業団(JICA)はマラッカ海峡の環境保全に関するプロジェクトを5年間の予定でスタートさせた。このプロジェクトに関係するマレーシアの研究者は今回共同研究を行なったメンバーである。今回の経験とデータはJICAのプロジェクトにそのまま引き継がれることになろう。また、われわれは政府が行なうプロジェクトに先んじて調査を行なったことも特筆に値する。

発表論文リスト

1. Mercury Content in Environmental Samples of Malaysia (Sakamoto, Sato, and Ichikawa)
2. Organic Carbon and Nitrogen in Sediment and Sea Water in the Coastal Areas of Kuala Terengganu and Port Dickson, Malaysia (Ichikawa, Sakamoto, and Sato)

以上の論文は今年度8月の国際学会で口頭発表され、また論文集として印刷されるものである。