伊勢湾における年間堆積量の 過去100年間の変化

盧学強^{1)*} 松本英二¹⁾ 阿部理¹⁾

¹⁾名古屋大学大学院環境学研究科
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

伊勢湾内10地点から堆積物コアを採取し、過去100年間の年間堆積量の変化を鉛-210法によって明らかにした。伊勢湾全域の年間堆積量は過去100年間増加傾向を示しており、特に1950年以降の増加が著しい。2000年における年間堆積量は200万トンであり、100年前の約2.5倍となった。これは周辺人口（愛知・岐阜・三重）の最近80年間の増加率（2.6倍）にはほぼ等しい。年間堆積量の増加傾向は河川整備の進展に関連し、1950年以降の顕著な増加については、港湾地域の浚渫・埋立に伴う堆積物の再懸濁・再堆積が支配要因であろうと考えられる。

キーワード：年間堆積量、鉛-210、伊勢湾

I. はじめに

陸域から流入する物質は沿岸海域の水質を大きく支配し、海底堆積物の堆積速度の変化はこのための有用な情報を与える（金井ら、2002）。過去100年程度の期間内の堆積速度を求める方法としては、天然起源放射性核種であり、22.3年の半減期を有す鉛-210 (^{210}Pb) がよく用いられる（松本、1983）。 ^{210}Pb 法は、岩石・土壌粒子中に含まれる ^{238}U 系列の ^{226}Ra の壊変によって生じた ^{222}Rn が大気中に拡散し、その娘核種である ^{210}Pb がエアロゾルなどに付着して降下し、懸濁物と共に堆積し、その後固有の半減期で減少していくことに基づいている（金井、2000）。

伊勢湾では松永ら（1986）が ^{210}Pb 法により堆積速度を既に報告している。但し、過去100年間の平均堆積速度であり、各年代の堆積速度変化は得られていない。また、彼らの研究は現在から約20年前のものであり、最近の堆積環境に関しては明らかになっていない。そこで、Lu and Matsumoto (2005) は伊勢湾の10地点において、堆積速度の時空間変化を初めて明らかにした。

本論文では、Lu and Matsumoto (2005) で報告された時空間変化に基づき、伊勢湾全域における懸

濁粒子の年間堆積量の時間変化を報告し、その原因について考察する。本研究の結果は伊勢湾のみならずその後背地の変化に関する研究にとって基本かつ重要なデータとなるであろう。

II. 試料及び方法

1. 伊勢湾の概要

伊勢湾（図-1）は面積1,738 km²、容積33.9km³、平均水深19.5 mで、湾口が狭い典型的な半閉鎖型の内湾である（Fujiwara *et al.*, 1997）。伊勢湾へ流入する河川の流域面積は18,153 km²で、湾奥部に流入している木曾三川（木曾川、長良川、揖斐川）の流入は総流入量の約85 %を占めている（Kasai *et al.*, 2002）。流域である東海三県（愛知・岐阜・三重）の2000年の人口は11×10⁶人であり、

1920年から約2.6倍増加している（総務省統計局国勢調査資料；<http://www.stat.go.jp>）。伊勢湾の底質については桑原（1985）によって調べられており、主として粘土～シルト質堆積物から構成され、そのほか湾口、湾央の東西岸付近、木曾三川の河口部では、砂や礫域となっていることがわかっている。

* 現所属は、School of Geography and Environmental Science, The University of Auckland (Private Bag 92019 Auckland, New Zealand)

図-1 伊勢湾の調査地点 (Lu and Matsumoto, 2005に加筆修正). SGは砂または礫域を示す. 等深線 (m) はJ-ODSSの500m meshデータにより作成した

Fig.1 Sampling sites (solid circles) in Ise Bay, Japan (modified after Lu and Matsumoto, 2005). SG (the dotted area) indicates the sand or gravel-grained sediment. The bathymetric (500 m mesh) data in meter are obtained from J-DOSS (JODC Data On-line Service System, available at <http://www.jodc.go.jp>).

2. 試料採取と測定方法

試料採取と測定方法の詳細については, Lu and Matsumoto (2005)により報告されているため, ここではその概要を紹介する.

調査は2002年から3年間にかけて三重大学生物資源学部練習船勢水丸航海により伊勢湾内および湾口付近の12地点で底質調査を行い, そのうち粘土〜シルト域であるM-Line上5点及びI-Line上5点の計10地点で直径5.5 cmの堆積物コアを, 松本式重力コアラーを用いて採取した (図-1). 重力コアラーで採取できなかった二地点 (M2.5及びM3) については, 砂〜礫域であると判断した. 砂礫のみが堆積している地点は, 懸濁粒子がたまりにくい場所であると言えるため, 無堆積域と見なした.

採取した柱状試料は, 船上で2-5 cmの間隔でスライスし, 研究室に持ち帰った. その後, 110 °Cで乾燥させ, 含水量から間隙率を求め, massdepthを計算した. massdepthとは単位面積あたりの粒子の積算質量であり, 圧密による堆積物の圧縮の影響を取り除き, 単位時間あたりのフラックスを計算するために必要な単位である. 乾燥させたサンプルは一定の質量と形にして, γ 線スペクトロメトリー (検出器: EG&G ORTEC GWL-120230; MCA:

SEIKO EG&G model 7800) で放射線強度を測定した. 各核種の放射能強度の算出には, 46.5 keV (^{210}Pb), 295 keV (^{214}Pb), 352 keV (^{214}Pb), 609 keV (^{214}Bi), 662 keV (^{137}Cs) のピークを使用した. そこで, Total ^{210}Pb 濃度から ^{226}Ra と放射平衡にある ^{214}Pb または ^{214}Bi の量 (supported ^{210}Pb) を引き算した量を excess ^{210}Pb とする. そして, 得られたmassdepthと excess ^{210}Pb を用いて, Constant Flux of Lead-210 (CFL) モデル (Appleby and Oldfield, 1978; Lu and Matsumoto, 2005) を用いて堆積年代と堆積速度を算出した.

Ⅲ. 結果と考察

1. 堆積速度の変化

図-2は伊勢湾の堆積速度の変化を表している. ほぼ全地点において堆積速度の増加傾向が見られ, 特に1950年以降の堆積速度は, 湾口よりの西側 (IS12, IS9, I2.0) を除くと顕著に大きくなっていることが認められる. なおIS12, IS9の二地点は平均堆積速度も小さく, 懸濁粒子が堆積しにくい場所であることがわかる. また, 各年代における空間分布の特徴としては, 1) 1900年には, 湾内各地点の堆積速度の差は0.1 g/cm²/y程度 (例えばM0とM2など) であったが, 湾奥 (M0, IS14) で最大堆積速度を示す1960年代には1.0 g/cm²/y近くまで上昇すること, 2) 1950年以降特に湾奥で高い堆積速度を示すこと, 3) 1950年以降湾央 (IS12, IS9, M1, M1.5) では東側 (M-Line) がより高い堆積速度を示すこと, が挙げられる.

2. 年間堆積量の変化

図-2の結果に基づき, 伊勢湾全域における1900年, 1920年, 1940年, 1960年, 1980年, 2000年の年間堆積量を, 全10地点から得られた各年代の堆積速度を基に, 等値線図を作図ソフト (Surfer; Golden Software, Inc.) を用いて作成し, 等値線間の面積を計算し, 各面積に対して等値線間の平均堆積速度を乗ずることにより計算した.

ここで, 底質調査結果及び桑原 (1985) から, 湾口と湾央の両側に見られる砂礫域は現在の河川による搬入物ではなく, 湾底の基盤から洗い出されたものあるいは基盤の礫層が直接露出であるとし, これらは無堆積域と見なした. また, 木曽三川河口付近の砂礫域も面積計算から除いた. 従って湾

図-2 伊勢湾における堆積速度の変化 (after Lu and Matsumoto, 2005). 水平・鉛直方向の誤差棒はそれぞれ、年代及び堆積速度の誤差 ($\pm 1\sigma$) に相当する. 誤差の計算は, Binford (1990) の方法に従った

Fig.2 Sedimentation rate change in Ise Bay (after Lu and Matsumoto, 2005). The horizontal and vertical error bars denote the uncertainties (one sigma) of derived dates and sedimentation rates, respectively. The method for determination of the errors is followed by Binford (1990).

全体の約36 %に相当する650 km²について堆積量0と見なした.

計算結果を図-3 (a) に示す. 1900年から1960年にかけて堆積量は増加傾向を示し, その後2000年まで約200万トンではほぼ横ばいとなった. 1900年の年間堆積量約80万トンに対して1960~2000年の年間堆積量は約2.5倍を示し, これは流域である東海三県 (愛知・岐阜・三重) の人口増加率とほぼ等しい.

3. 年間堆積量の変化要因

以上の結果から, 湾内の堆積物は主に木曽三川の懸濁粒子が主たる供給源であると考えられる.

その供給量は過去100年間増加傾向にあり, 特に1950年代以降顕著に増加していることが示唆される.

その要因を考察するため, 木曽川・長良川における計画高水流量推移を示す (図-3 (b)). 計画高水流量は, 基本高水流量から洪水調節量を差し引いた流量であり, この増加傾向は河岸整備の発達を意味する, 従って, 100年前に比べ現在の方が増水による河道周辺域への氾濫が減少し, その結果懸濁粒子の海洋への直接輸送量が増加していることが示唆される. また, 河川から海洋への粒子輸送量の多くは洪水期であると考えられる.

さらに, 一般に近年の都市化によって, 雨水流

図-3 (a) 伊勢湾の年間堆積量変化; (b) 木曾川と長良川の計画高水流量 (木曾川上流事務所, 私信); (c) 名古屋港と四日市港における埋立面積 (名古屋港管理組合と第五港湾建設局資料より作成)

Fig.3 (a) Annual sedimentation amount in Ise Bay; (b) Planned discharge capacity of the Kiso and Nagara Rivers; (c) Annual reclamation area in Nagoya and Yokkaichi Harbors.

出率が高くなっていること (松林, 1988) は, 伊勢湾流域の都市化が河川から海洋へ粒子輸送量を増加させる一因であろうと考えられる。

最後に1960年以降の堆積量の急激な増加について考察する。Owen and Lee (2004) は沿岸海域における浚渫・埋立が海底堆積速度の変化に大きな影響を与えると指摘した。伊勢湾の埋立は主に名古屋港と四日市港周辺で行われてきた。図-3 (c) はその埋立面積の経年変化を示す。図から明らかにように, 埋立は1950年から増加し, 特に1960年から1990年の間に盛んに行われた。図-3 (a) で見られた1960年と1980年における高い年間堆積量は, 浚渫・埋立てによる堆積物の再懸濁・再堆積と大きく関連していると考えられる。Lu and Matsumoto (2005) により, 本研究海域においてCFLモデルが適用できる, すなわちexcess ^{210}Pb フラックスがほぼ一定とみなせることが確認されているため, 堆積物深部のexcess ^{210}Pb activityの極めて低い粒子が浚渫によって加えられることにより堆積速度が増加したものと推察される。

Ⅳ. まとめ

鉛-210法を用いて, 伊勢湾における過去100年間の年間堆積量の変化を明らかにした。伊勢湾の年間堆積量は増加傾向を示しており, 特に1950年以降年間堆積量の増加が著しい。2000年の年間堆積量は200万トンとなり, 100年前の約2.5倍になった。年間堆積量の増加傾向は河川整備の進展に関連し, 1950年以降の顕著な増加については港湾地域の浚渫・埋立に伴う堆積物の再懸濁・再堆積が支配要因であろうと考えられる。

本研究は伊勢湾内10地点の結果に基づきほぼ伊勢湾全域の堆積量の時間変化とその要因について定性的に議論したが今後は, 河川粒子輸送量や浚渫・埋立量などと年間堆積量の推移の定量的な関係, 及び湾内の空間的な堆積量変化に関するさらなる詳細な研究が必要である。

謝辞

三重大学生物資源学部練習船勢水丸の乗組員諸兄には堆積物試料採取の際に多大な御協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。二名の査読者の方には多数の貴重なご助言を賜りました。本研究は文部科学省研究拠点形成費補助金 (21世紀COEプログラム「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」) の援助を受けました。

参考文献

- Appleby PG and Oldfield F. 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena* 5: 1-8.
- Binford MW. 1990. Calculation and uncertainty analysis of ^{210}Pb dates for PIRLA project lake sediment cores. *Journal of Paleolimnology* 3: 253-267.
- Fujiwara T, Sanford LP, Nakatsuji K, Sugiyama Y. 1997. Anticyclonic circulation driven by the estuarine circulation in a gulf type ROFI. *Journal of Marine Systems* 12: 83-99.
- 金井豊 (2000): 鉛-210堆積年代法とその問題点, 地球化学, 34, pp.23-39.
- 金井豊・山室真澄・井内美郎・徳岡隆夫 (2002): 島根・鳥取県中海における堆積速度と堆積環境, 地球化学, 36, pp.161-178.
- Kasai A, Fujiwara T, Simpson JH, Takehi S. 2002. Circulation and cold dome in a gulf-type ROFI. *Continental Shelf Research* 22: 1579-1590.
- 桑原徹 (1985): 伊勢湾・三河湾 I 地質. In: 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編), pp. 493-512, 東海大学出版会.
- Lu X and Matsumoto E. 2005. Recent sedimentation rates derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs methods in Ise Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65: 83-93.
- 松林宇一郎 (1988): 都市化による流出特性の変化. In: 木曾川〜

その流域と河川技術(河村三郎編), pp. 448-454, 建設省中部
地方建設局.
松本英二(1983):東京湾の底質環境. 地球化学, 17, pp.27-32.
松永捷司・佐藤茂之・半田暢彦(1986):伊勢湾. In:沿岸環境調
査マニュアル 底質・生物篇(日本海洋学会編), pp. 108-

117, 恒星社厚生閣.
Owen RB and Lee R. 2004. Human impacts on organic matter
sedimentation in a proximal shelf setting, Hong Kong.
Continental Shelf Research 24: 583-602.

(受付:2006年1月20日, 受理:2006年8月11日)

Change of Annual Sedimentation Amount in Ise Bay Over the Last Century

Xueqiang Lu ^{1)*} Eiji MATSUMOTO ¹⁾ Osamu ABE ¹⁾

¹⁾Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
(Furo-cho Chikusa-ku Nagoya, 464-8601, Japan)

*The present affiliation is School of Geography and Environmental Science, The University of Auckland
(Private Bag 92019 Auckland, New Zealand)

Ten sediment cores, collected from Ise Bay, were used to determine the annual sedimentation amount in the bay using ²¹⁰Pb method. A general increasing trend in annual sedimentation amount over the last century was found, and was prominent after 1950. Sedimentation amount in 2000 is ~2 million tons, which is ~2.5 times of that in 1900. The increase rate of annual sedimentation amount is similar to the increase rate of the populations in the catchment (Aichi, Gifu and Mie). The generally increasing trend in annual sedimentation amount might be related to the improvement of river discharge regime. It is speculated that the particles from the dredging and reclamation contributed significantly to the abrupt increase in annual sedimentation amount after 1950.

Key words : Annual sedimentation amount, ²¹⁰Pb, Ise Bay