

魚群探知機を利用した海底・海中環境特性把握 のための音響的観測手法確立に関する研究

DEVELOPMENT OF THE ACOUSTIC METHOD FOR REMOTE ABOUT THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF ARIAKE SEA BY USING THE QUANTITATIVE ECHO SOUNDER

青山千春¹・滝川清²・秋元和實³・園田吉弘⁴

Chiharu AOYAMA, Kiyoshi TAKIGAWA, Kazumi AKIMOTO and Yoshihiro SONODA

¹正会員 博士(水産学) 株式会社独立総合研究所 自然科学部長 (〒105-0004 東京都港区新橋三丁目1-10石井ビル7F)

²正会員 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター (〒160-0004 熊本県熊本市黒髪六丁目13-5)

³非会員 理博 熊本大学助教授 沿岸域環境科学教育研究センター

⁴非会員 アジアプランニング株式会社

Physical, biological, and chemical approaches should be comprehensively taken to evaluate the environmental conditions of a sea area with tidal mud flats like the Ariake Sea. In this study, a quantitative echo sounder was used to develop an acoustic method for remote and planimetric on-board observation on the distribution of the sea water and the floating mud layer which contain toxic substances like hydrogen sulfide. Based on the acoustic data, accordingly, material balance in tidal mud flats and underwater environmental conditions were evaluated. Specifically, a correlation between underwater acoustic data and the amount of hydrogen sulfide was established based on the indexes of transducer frequency and echo sounder manufacturer.

Key Words : *Ariake Sea, echo sounder, hydrogen sulfide, environmental condition, backscattering strength*

1. はじめに

有明海など干潟を有する海域の環境特性を把握するためには、物理学的・生物学的・化学的アプローチによる総合的な研究が必要である。海中や海底堆積物に含まれる硫化水素の量を計測する場合、従来の方法は観測点で採泥・採水し試料を分析していた。これでは手間と時間がかかるうえ、観測点だけのピンポイント情報しか得られない。計量魚群探知機または魚群探知機を利用すると、超音波の散乱強度の強さの違いにより、海底の堆積物や海中・海底に存在する硫化水素等の挙動を平面的に把握することが可能である¹⁾。

2. 研究概要

本研究は2005年から3年間で、計量魚群探知機を利用して音響データを求めることで硫化水素などの有害物質を含む海水及び浮泥層の分布を船上から遠隔的・面的に観測する音響的手法を確立し、干潟環境の物質収支特性と海底・海中環境の特性を把握する¹⁾。具体的には、魚群探知機の周波数別、魚群探知機メーカー別の指標を作成する。

2006年度の研究目的は、有明海の現場海域において海底・海中の音響データを取得し、同時に水質と海底堆積物の観測および化学的分析を行い、音響データと水質・海底堆積物との関係を明らかにすることである。

音響的観測手法の実用化には、平成17年4月に筆者が特許を取得した「音響計測機器による海底資源探査方法」(特許第3662921号)を応用している¹⁾。

観測は、熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター滝川清教授の研究室および同大学理学部秋元和

實助教授と連携して実施した。

3. 原理

魚群探知機の送受波器から発射された超音波は、周囲の海水と密度が異なる境界面（例えば、魚、海底、熱水や硫化水素ガスなど）で散乱しその一部がもと来た方向へ戻ってきて送受波器で受波される²⁾。発射された超音波の強さと戻ってきた散乱波（戻り散乱波）の強さの比を対数表示にして10倍した値を戻り散乱強度(dB)という。この強さの違いは魚群探知機の表示器のエコーグラム上では色の違いや濃淡で表示される。境界面すなわち強反射散乱体があるかを知るためには、あらかじめ境界面となる魚、海底や硫化水素ガスなどの単位体積あたりの戻り散乱強度を理論値や水槽実験から求める。現場海域で強反射散乱体の基準値を求める場合は音響データ取得と同時に採水や採泥により化学的に成分を分析して確定することができる。

本研究では、この原理を海底と海中の硫化水素（ガス）などの有害物質に対して応用する。

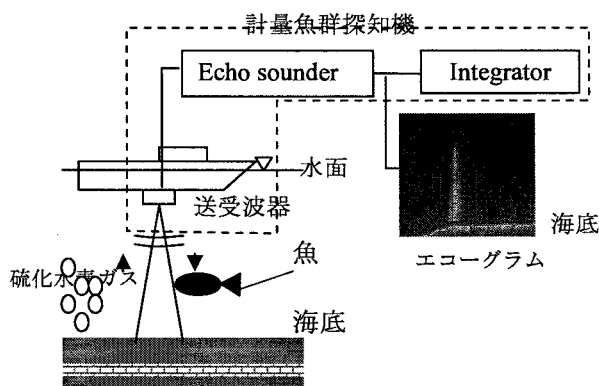


図-1 魚群探知機の原理

線航走は、測線間隔を約90m(0.05nmi.)、測線数は12本～22本、観測線長さは1本約450mとした。航走時にGPSにより位置データを取得し、船位を求めた。

採水と採泥は、ドリフト（行き足を止める）状態で行った。採水は、バンドン型採水器を用いて、海底上0.5mの海水を採取した。採泥は、グラブ式採泥器による表層採泥またはアクリルパイプ（直径77mm、長さ60cm）による柱状採泥を行った。下船後に音響電子データの解析と採取した試料の化学的分析を行った。海水中の硫化物の計量は、鉍泉分析法指針7-24水蒸気蒸留法により行った。海底堆積物中の硫化物は、環水管第127号低湿調査方法Ⅱ-17により計量を行った。

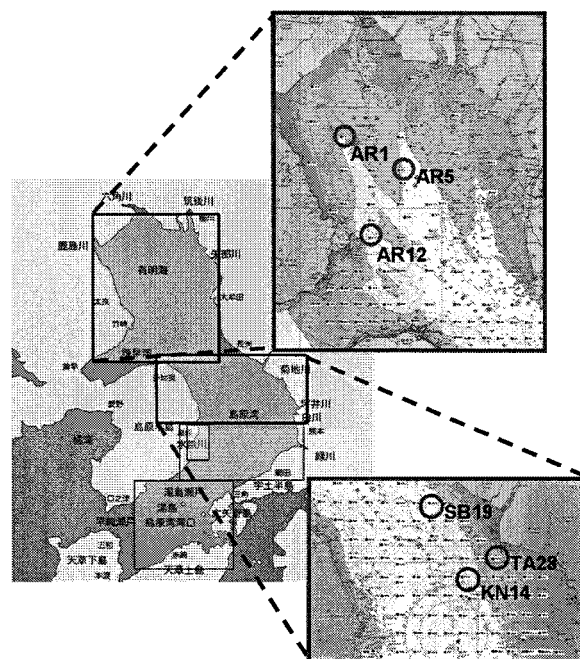


図-2 観測実施海域

4. 観測方法

観測海域は、2005年度の観測および底生有孔虫の層位的変化に基づく大浦区域における海底環境の変遷（秋元ら³⁾や報告・論文^{4,5,6)}を参考にして、硫化水素の滞留が多い海域AR-1, AR-12, TA-28とKN-14, リファレンスとしてAR-5とSB19を選定した（図-2, 表-1）。

観測には、熊本県水産研究センターと地元の漁業協同組合の協力を得て、同センター調査船ひのくに（49トン）や、同組合所属の船舶（1.9トン）を利用した。

音響調査を曳航式計量魚群探知機（SIMRAD EK-60, 周波数70kHz）を利用して行った。調査海域を測線（図-3に一例としてKN-14の測線を示す）に沿って船速3ノットで航走しながら海底と海中の音響電子データを取得した。測

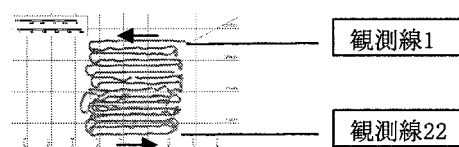


図-3 観測線（KN-14の場合）

表-1 観測海域中心位置

海域	測点名	緯度	経度
湾奥	AR-1	33°4'10.3"N	130°12'51.8"E
湾奥 (リファレンス)	AR-5	33°2'32.4"N	130°16'46.2"E
湾奥	AR-12	32°58'12.1"N	130°14'50.6"E
熊本新港北西 (リファレンス)	SB-19	32°53'03.0"N	130°27'52.5"E
熊本新港北側	TA-28	32°50'12.2"N	130°30'46.8"E
熊本新港北側	KN-14	32°49'12.2"N	130°28'52.5"E

4. 観測結果と考察

(1) 海底戻り散乱強度とエコーグラム

図4は、図2および表1に示す観測海域における観測線ごとの音響観測による海底面平均戻り散乱強度を示している。縦軸は、海底面平均戻り散乱強度(dB)で海底質が砂の含有率が高いほどは大きい⁷⁾。横軸は、観測線番号を表していて、観測線ごとの平均を求めた。

湾奥のAR-1における平均戻り散乱強度は-22.5dB、AR-5では-21.3dBとなり、砂の含有率が0%から5%の砂泥であることがわかり^{7,8,9)}、この結果は、次項(2)粒度分布の結果と一致する。

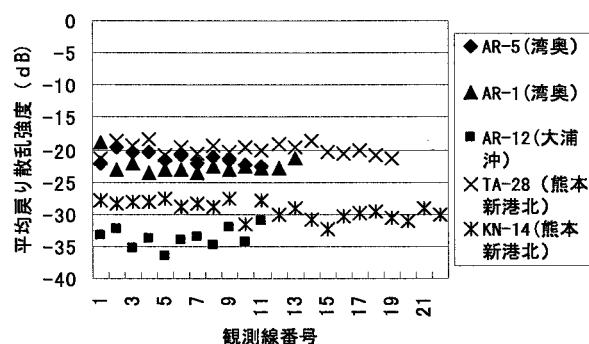


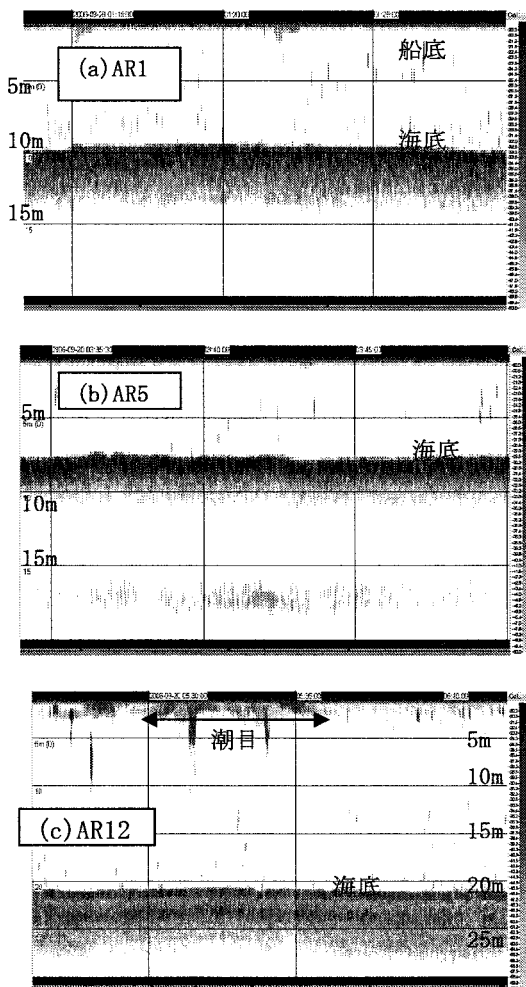
図-4 海底面平均戻り散乱強度

一方で、A-1とほぼ等しい粒度組成であるAR-12の海底面平均戻り散乱強度は、-33.7dBとなり、A-1のそれと大きな違いがある。この値は青山らの報告(1997)によれば東京湾におけるヘドロの平均戻り散乱強度に近い⁷⁾。

次に図5(a)-(e)は、計量魚群探知機のエコーグラムで図の上方が船底、縦軸は船底からの距離(m)、横軸は時間経過を表して右へ行くほど新しい。下方の帯状のラインが海底を表している。図5(c)のAR-12海域には潮目があることと、(a)AR-1や(b)AR-5より海底を表示している色が薄いすなわち海底の戻り散乱強度がほかの海域より小さいことがわかる。潮目は目視観測で確認した。さらに海底が2層の縞模様になっていることが見て取れる。これは送信された超音波が海底表面でそのほとんどが散乱されるのではなく、一部が海底堆積物中に進み密度の異なる堆積物に散乱して戻ってきたと考えられる。東京湾で筆者が過去に計測した海底堆積物の表面にヘドロが堆積した海底のエコーグラムとよく似ており、エコーグラムの結果も粒度組成の結果と異なる。図-4, 5の結果より、戻り散乱強度の違いは粒度組成(砂の含有率)の違いだけではなく、土密度や含水率などのファクターの影響を検討する必要があることがわかる。そこで、次年度の観測では同海域で再度柱状採泥し、可能ならばビデオカメラで海底の映像を取得し、さらに検討を行う。

図5(e)のKN-14では、図中央部分の海底は平坦ではなく、戻り散乱強度が大きい堆積物の表面上にそれよりも戻り散乱強度が小さい堆積物が堆積していることがわかる。この海域KN-14では、水深14m以深で、鉛直方向に縦長に伸びる構造が見られる。このような特徴は、AR-12では見られない。KN-14で見られるこの縦長の構造は、海底から伸びているものもあれば、海中のみに見られるものもある。これより、この海域ではバブルが間欠的に海底から上昇している可能性が示唆される。図6に日本海上越市沖におけるメタンプルームのエコーグラムを示す^{10, 11)}。海底下に貯存するメタンハイドレート層から堆積物中を上昇し海底面から湧出したメタンが海中を上昇している様子が見て取れる。

底質および海水中に含まれる硫化水素をAR-12とKN-14において比較すると、底質・海水中ともにKN-14の方が高濃度であった(図7, 9)。このことから、KN-14では海底から硫化水素のバブルが発生しており、それを魚群探知機が縦長の構造として捉えた可能性が考えられる。次年度はさらに音響データで捉えた構造の化学的組成を明らかにするため、KN-14で計量魚群探知機によるモニタリングと同時に採水・採泥を実施し検討を行う。



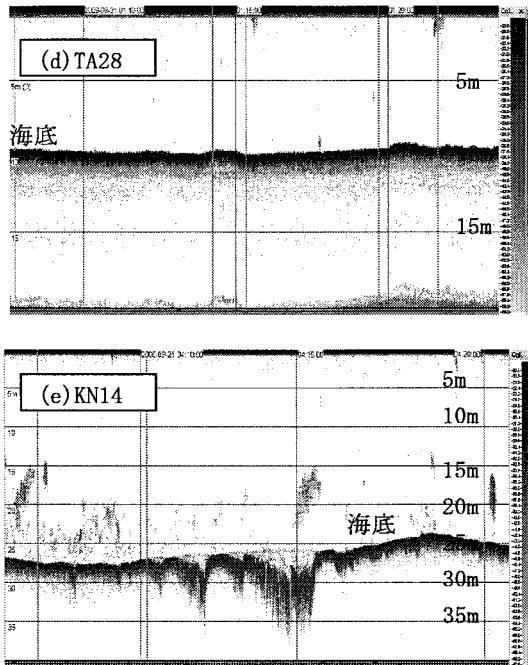


図-5 (a)～(e) 各観測海域のエコーグラムの一例

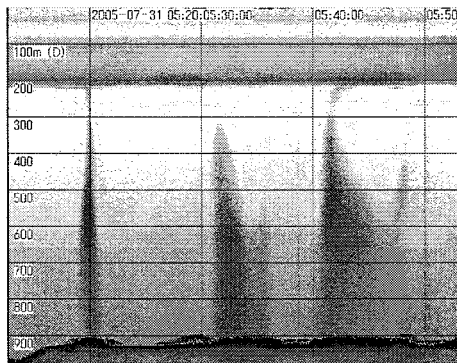


図-6 メタンプルムのエコーグラムの一例

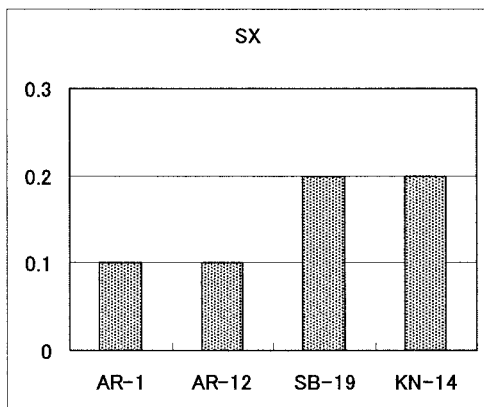


図-7 海水中の硫化物

(2) 海底堆積物の粒度分布

図-8に示すとおり、諫早湾東方のAR-1とAR-12でのシルト粘土含有率(含泥率)はそれぞれ94.2%、94.1%であり、一方島原湾東部のSB-19とKN-14ではそれぞれ44.7%と66.9%であった。これらは、秋元ら(2004)で示されている有明海の含泥率の分布図とはほぼ一致している³⁾。また、含泥率に対応して、土粒子密度は諫早湾東方

で低く(AR-1とAR-12のそれぞれで2.474、2.465g/cm³)、島原湾東部の測点で高かった(SB-19、KN-14のそれぞれで2.717、2.594g/cm³) (図9)。

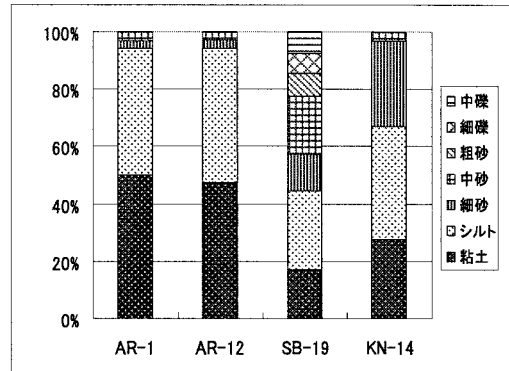


図-8 海底堆積物の粒度組成

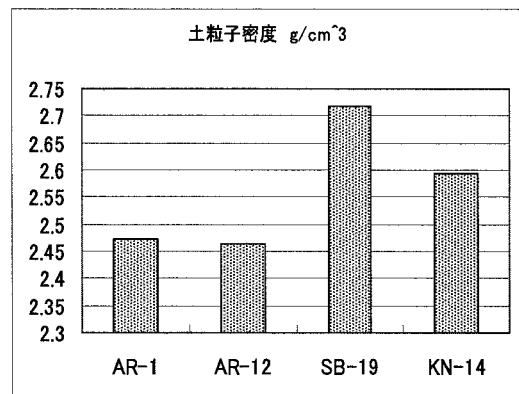


図-9 海底堆積物の土粒子密度

(3) 海底堆積物の硫化物分布

グラブ採泥器で得られた試料中の硫化物含有量は、AR-1で0.67 mg/kg, AR-12で0.12 mg/kg, SB-19で0.17 mg/kg, KN-14で0.17 mg/kgであった。AR-1での硫化物含有量の高さが顕著である(図10)。

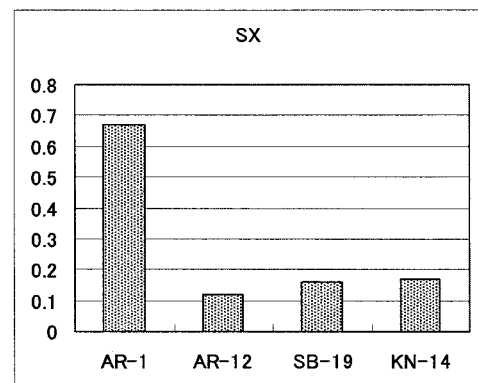


図-10 海底堆積物の硫化物分布

ピストンコアで得られた試料の硫化物含有量は、KN-14では0-50cmのすべての深さで0.1～0.2 mg/kg程度であり(図11a)、SB-19ではほぼすべての層で0.1 mg/kg程度であり突出して高い5-10cmの層でも

0.22mg/kgである(図11b)。これに対し、AR-1では0-5cmでは0.13mg/kgと少ないが、深さ5-25cmまでは0.45 mg/kg以上、25-50cmでは0.25~0.45 mg/kgである(図11c)。ピストンコア採泥での試料でも、AR-1の堆積物の硫化物濃度は他の測点での値に比べて高いという特徴が顕著である。

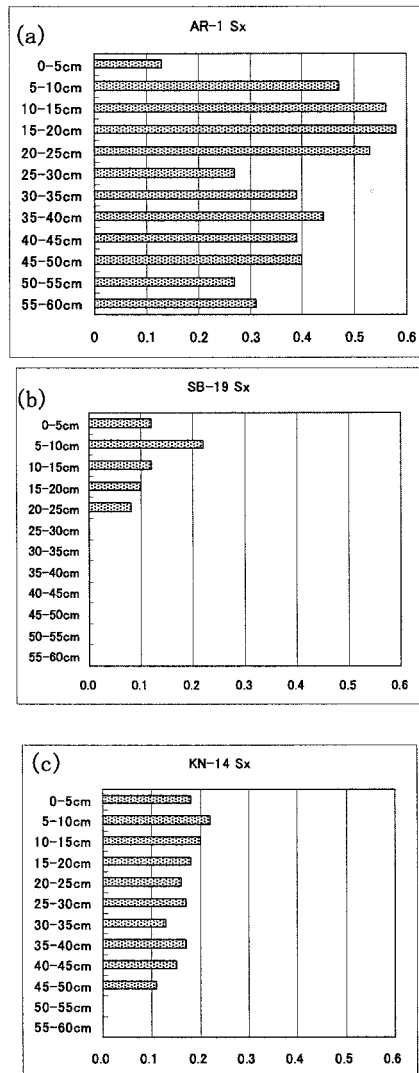


図-11 (a)AR-1、(b)SB-19、(c)KN-14 で採取された底質中の硫化物濃度(mg/kg)の鉛直分布

5. まとめ

今回の観測で以下のことが明らかになった。

①潮目が多い海域の海底面戻り散乱強度は小さく、②海底面戻り散乱強度の違いは、粒度分布(砂の含有率)の違いだけではなく、土密度や含水率などのファクターも考慮する必要がある、③硫化水素が多く堆積していることが既知の海域では、海底が平坦ではなくところどころ陥没して海底面戻り散乱強度の異なる堆積物が堆積していたり、平坦であるが広範囲に海底面戻り散乱強度のことなる堆積物が2層に分布していたりする。

6. 今後の課題

2007 度は、①現場観測においては、ビデオカメラで海底を観察したり、より多くの海底堆積物や海水をサンプリングしたりして音響データと硫化物の分布の関係を明らかにし、②また、取得した音響データが硫化水素を含む堆積物や硫化水素バブルから反射・散乱して戻って来たデータかどうかを知るために熱水、冷水、魚、植物やガスの戻り散乱強度の基準値を理論値や水槽実験から求め、③漁業従事者が利用している魚群探知機のメーカーや機種をリサーチしメーカー別指標を作成し、本方法を確立する。

7. おわりに

有明海の多くの漁船が日々の漁の行き帰りに本手法を利用することで海底や海中の硫化水素の分布変化の概要を漁業従事者自ら把握できる。また水産試験場など計量魚群探知機を有する観測調査船が本手法を毎月の定線観測時に利用すれば、硫化水素等の面的な分布が船上から魚群探知機だけで遠隔的に把握可能になる。

さらにこれらの情報やデータを集約することで、有明海における硫化水素等の有害物質を含む海水及び浮泥層の分布の変動を効率的かつ経済的に把握することが可能になる。

本方法を確立することは有明海の生物生息空間の再生に有効な成果であるといえる。

謝辞：本研究に協力いただいた熊本県水産研究センターと長崎県大浦漁業協同組合の関係者の皆様に御礼を申し上げます。

なお本研究は、文部科学省重要課題解決型研究等の推進「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」の分担研究として実施した。

参考文献

- 1) Aoyama, C, Matsumoto, R. and et all: Acoustical Survey of Methane Plumes Using the Quantitative Echo Sounder in the Eastern Margin of the Sea of Japan, Oceans Techno Ocean 2004, pp1001-1004, 2004.
- 2) 実吉純一、菊池喜充、熊本乙彦、超音波技術便覧(改訂新版)、日刊工業新聞社
- 3) 秋元和實ほか、「がらかぶ」が見た有明海の風景 1、NPO みらい有明不知火、有明海海底底質データベース、2004年。
- 4) Takikawa, K, Tanaka, K. and Aoyama C.: Characteristics of Environment and Tidal Current in Ariake Sea, Asian and Pacific Coasts 2003.

- 5) Takikawa, K., Tanaka, K. and Aoyama C.: Ecological System of Ariake Ocean, International Water Association Asian Waterqual 2003.
- 6) 滝川清, 田中健路, 外村隆臣, 青山千春, 西山律恵, 有明海の過去 25 年間における海域環境の変動特性、土木学会海岸工学論文集、第 50 巻, pp. 1001-1005, 2003.
- 7) 青山千春, 海底面を利用した魚群探知機のキャリブレーションに関する研究, 学位論文, 東京水産大学 (現・東京海洋大学), 1996.
- 8) 青山千春, 濱田悦之, 古澤昌彦, 水槽の水面反射を利用した計量魚群探知機の較正, 水産学会誌 63(4), 570-577, 1997 年.
- 9) 青山千春, 濱田悦之, 古澤昌彦, 海底反射を利用した計量魚群探知機の総合的検証, 水産学会誌 65(1), 76-83, 1999 年.
- 10) 青山千春, 松本良, 町山栄章, 沼波秀樹, 日本海上越市沖ガスハイドレート特異海域におけるマルチナロービームソナーおよび計量魚群探知機によるメタンプルームの音響的観測, しんかいシンポジウム 2007 予稿集.
- 11) 青山千春, 計量魚群探知機を利用した海中のメタンプルームの観察と測定に関する研究, 月刊地球 318, 27, 12, pp. 913-918, 2005.