

ご 挨拶

熊本大学工学部附属工学研究機器センター
センター長 池上 知顯

工学部研究機器センター報告第 46 号をお届けいたします。

本報告は工学研究機器センターの機器もしくは同センター内の機器室を使用して実施されたプロジェクトや研究に関して、平成 25 年 4 月から平成 26 年 3 月の間に、学内外で発表された論文等の要旨をお知らせするものです。

本年度も数多くの皆様にご利用いただき、総数 20 件の優れた研究成果が盛り込まれた報告を発行することができました。ここに感謝申し上げます。

今年度も引き続き本センターの機器充実を図る取り組みを推進するとともに、基礎分析技術セミナーの開催をとおして、より多くの方々に本センターをご利用していただけるようにつとめてまいります。

皆様におかれましては、今後なお一層、本センターのご支援のほど、よろしくお願い申し上げます。

【工学部 物質生命化学科】

- 46-1 X線光電子分光法(XPS)による還元した酸化グラフェン(rGO)の特製評価
- 46-2 酸化グラフェンの電子・プロトン混合伝導
- 46-3 酸化グラフェン内部への金属浸透現象
- 46-4 電解酸化還元サイクルにおける電気化学キャパシタの効果
- 46-5 電解酸化グラファイト電極の作製

【工学部 情報電気電子工学科】

- 46-6 C_{61} フラーレンと電子線照射によるグラフェン形成およびパターニング手法開発に関する研究
- 46-7 レチクルフリー露光装置を用いた伸縮基板対応アライメント方式の開発
- 46-8 パルス光伝導法を用いたマルチ測定装置の開発
- 46-9 相関法による空間中の微小パーティクルモニタリング
- 46-10 陽極酸化アルミナ基板上への周期変調グラフェン製膜-陽極酸化アルミナ基板上へのグラフェン作製-
- 46-11 フォトリソグラフィを用いた変調 SiO_2 基板上へのグラフェン成膜とその特性評価に関する研究
- 46-12 浮遊パーティクル検出手法の開発とその気流可視化への応用
- 46-13 陽極酸化穴構造上への変調グラフェン作製に関する研究
- 46-14 パルス光伝導法におけるマルチフラッシュシステムを用いた絶縁酸化膜評価装置の開発に関する研究

【沿岸域環境科学教育研究センター】

- 46-15 2005 年夏季の有明海における貧酸素水塊と気象・海象との相互変動特性
- 46-16 閉鎖性沿岸海域の環境再生と防災との調和
ー沿岸域の総合的管理の実現に向けた 基礎的研究ー
- 46-17 八代海「野坂の浦」におけるアマモの 好適生育環境の予測・検討
- 46-18 八代港に造成した「なぎさ線」における造成初期の 生態系構築過程
- 46-19 八代海海域における水質環境特性
- 46-20 有明・八代海海域における海水温変動と底生生物群集の応答特性

X線光電子分光法(XPS)による還元した酸化グラフェン(rGO)の特製評価

大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科） 教授 松本 泰道
大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科） 講師 鯉沼 陸央
大学院自然科学研究科 博士後期 立石 光

1. 緒言 グラフェンは様々な特性を有しており、特に、電子デバイスとしては現在一般的に用いられているシリコンを多くの点で凌駕することが分かってきた。しかしながら、グラフェンを大量に作製するには、高額な装置が必要とされている。酸化グラフェン(GO)は、安価な原料から比較的簡単な手法で、大量に作製可能であり、様々な方法により還元することで、グラフェンを作製しようとする試みが盛んに行われている。また、GO 自体にも、電極材料や電極触媒などの高い特性が見出されている。これらの特性は、GO 表面に存在する酸素官能基に大きく影響を受けることが知られており、この研究では、工学研究機器センターに設置してあるX線光電子分光法(XPS)により、酸化グラフェンの酸素官能基を詳細に検討した。

2. 実験 酸化グラフェン(GO)は、一般的な Hummers 法によって作製した。GO は、Hg ランプ照射による光還元、電気炉での加熱による熱還元、 Na_2SO_4 溶液中における電気化学還元、ヒドラジンをを用いた化学的還元によって還元した GO(rGO)を作製した。作製した GO および rGO は、XPS によって、炭素の化学状態を厳密に評価し、その還元状態を検討した。

3. 結果と考察 ダイヤモンドは sp^3 混成軌道から、HOPG は sp^2 混成軌道から構成されているので、これらのピーク位置を基準にして、安息香酸ナトリウムから、カルボキシル基のピーク位置を決定し、さらに、カルボキシル基とアルキル鎖を持つドデカ二酸ナトリウムからは、アルキル鎖(CH)のピーク位置を決定した。同様にしてヒドロキノンとキノンの混合物からキノンからヒドロキシル基とカルボニル基のピーク位置を求めた。以上の結果からの結果、GO の C1s のピーク分離は、 $\text{sp}^2 \text{C}=\text{C}$ (284.6 eV)、CH, 欠陥 (285.0eV)、 $\text{sp}^3 \text{C}-\text{C}$ (285.5 eV)、ヒドロキシル基 C-OH (286.4 eV)、エポキシ基 C-O-C (287.2

eV)、カルボニル基 C=O (287.7 eV)、カルボキシル基 O=C-O (288.8 eV)の7つに分割することができた。また、還元方法によって、表面に存在する炭素官能基の種類が大きく変化することが分かった。電気化学還元では、CH 基が多く存在するのに対して、熱還元およびヒドラジン還元では、 sp^2 二重結合が復活することがわかった。以上の結果から、X線光電子分光装置(XPS)は、物質の化学状態を厳密に評価するために、非常に有効な装置であることが示された。

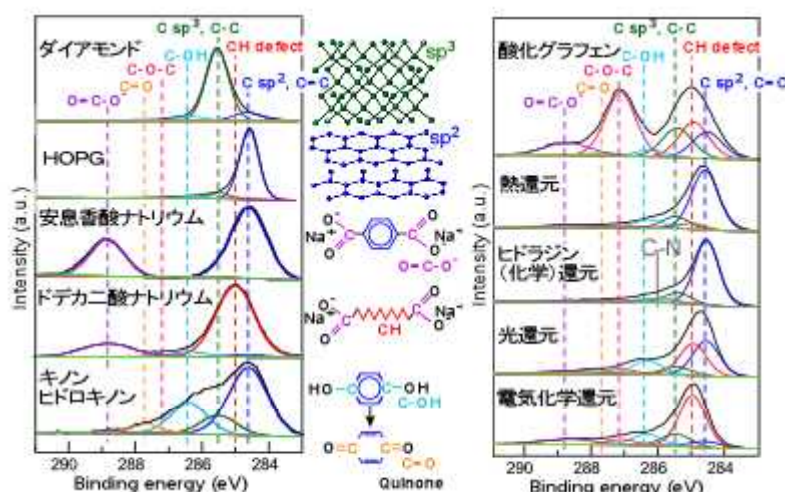


Fig.1 標準炭素含有サンプルと酸化グラフェン、還元した酸化グラフェンの XPS C1s スペクトル

酸化グラフェンの電子・プロトン混合伝導

大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科）	教授	松本 泰道
大学院自然科学研究科（理学部理学科）	教授	速水 真也
大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科）	講師	鯉沼 陸央
大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科）	助教	谷口 貴章
大学院自然科学研究科	博士後期	畠山 一翔

1. 緒言

酸化グラフェン(GO)は、表面に親水性となる様々な酸素官能基と疎水性となる π 電子共役系が共存する多機能材料である。そのため、応用範囲も非常に広く、世界で最も精力的に研究されている材料の1つである。さらに、炭素と酸素というありふれた原子のみで構成されていることから、資源に乏しい日本にとって将来非常に重要な材料となる可能性を秘めている。近年、電池や浸透膜に応用できることから GO のイオン伝導の研究が盛んに行われている。イオン伝導の中でもプロトン伝導は燃料電池の電解質として応用可能なことから非常に重要である。本研究では、GO が高いプロトン伝導度を示すことを明らかにした。また、そのプロトン伝導のメカニズムも報告する。

2. 実験

Hummers'法により作製した酸化グラファイトを超音波を用いて剥離し GO 溶液を得た。得られた GO 溶液をくし形電極上に滴下し、交流測定装置を用いプロトン伝導度の湿度依存性と温度依存性を評価した。GO 表面の化学状態は、工研設置の X 線光電子分光法で分析した

3. 結果及び考察

図 1 に GO 薄膜のプロトン伝導度の湿度依存性を示した。GO 積層膜は RH80% で $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 以上という非常に高いプロトン伝導度を示した。また、我々は GO モノレイヤーのプロトン伝導の測定に世界で初めて成功した。GO モノレイヤーのプロトン伝導は多層 GO 膜と比較して $10^4 \sim 10^2$ ほど小さいことがわかった。このことから、GO のプロトン伝導は GO 層間に挟まれた水が重要な働きをすることが示された。また、エチレンジアミン修飾によりエポキシ基が被覆されるとプロトン伝導が著しく減少することから、エポキシ基がプロトン伝導に重要であることが示された。

プロトン伝導度の温度依存から GO の活性化エネルギーが RH60% で $0.08 \sim 0.3 \text{ eV}$ と低い値を示すことがわかった。このことは GO のプロトン伝導が水素結合組み換えによりプロトンが移動するグロッタス機構により伝導していることが示された。

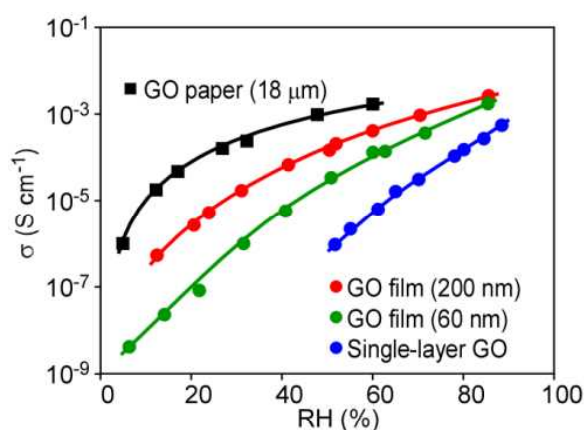


図 1 単層および多層 GO 膜のプロトン伝導度の湿度依存

酸化グラフェン内部への金属浸透現象

大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科）	教授	松本 泰道
大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科）	講師	鯉沼 陸央
大学院自然科学研究科	博士後期	緒方 盟子
大学院自然科学研究科	博士後期	畠山 一翔

1. 緒言 酸化グラフェン(GO)表面上への金属の固定化は、電子デバイスや電極材料などに GO を適用するためには必要不可欠なことである。また、GO 表面に析出した金属自身が電極触媒として有効に作用することも知られている。そこで、表面に析出・吸着した金属の状態を検討することは、とても重要なことである。したがって、本研究では、GO 表面に種々の金属を析出させ、その金属の GO 内部への拡散状況を検討した。さらに、金属拡散に対する GO の還元処理の影響も検討した。

2. 実験方法 Hummers 法により作製した GO 分散液を吸引ろ過することで、GO 膜（膜厚約 20 μm ）作製した。その GO 膜表面にスパッタによって、種々の金属（Pt, Au, Cu, Ag, Fe, Si）を析出した。金属を析出した GO 膜の表面および内部の元素組成を工研に設置してある X 線光電子分光法 (XPS) および電子線マイクロアナライザ (EPMA) で分析した。金属浸透に対する GO の化学組成の影響を検討するため、熱還元および光還元した GO 膜および NH_4F を混合した GO 膜を用いた。

3. 結果と考察 Fig.1 に GO 表面に Cu を約 20 nm 析出させたサンプルを湿度雰囲気下および真空中で保存し、その表面での Cu の割合を追跡した結果を示す。Cu を析出した GO サンプルを 60%以上の湿度雰囲気下に放置すると、表面の Cu の割合は直ちに減少した。また、30%の湿度雰囲気下では、24 時間放置しても表面に 5%程度の Cu が残った。一方、真空中では、表面の Cu の割合はあまり減少しなかった。XPS 深さ分析の結果から、30%湿度雰囲気下では、時間とともに表面での Cu の割合は減少するが、内部での割合はあまり変化しなかった。一方、真空中で 24 時間放置した場合でも、表面に多くの Cu が残っていたが、表面数 10nm の範囲での Cu の拡散は観察された。また、Fig.2 に示した断面 EPMA の結果においても、湿度雰囲気下では、Cu が内部まで拡散していることがわかった。以上の結果から、湿度雰囲気下では、Cu はイオン化（水和）して、GO 表面に存在する COO^- や C-OH などの官能基を介して内部に拡散しているものと示唆された。一方、真空中においても、原子化した Cu が非常にゆっくり内部へ拡散するため表面の Cu 濃度が減少したものと考えられる。以上の結果から工研に設置してある XPS および EPMA は、金属が移動する過程を追跡するツールとして有効であることが改めて示された。

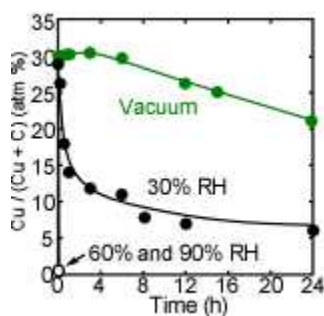


Fig.1 XPS 半定量分析による Cu が析出した GO 内部への Cu 拡散現象の時間追跡

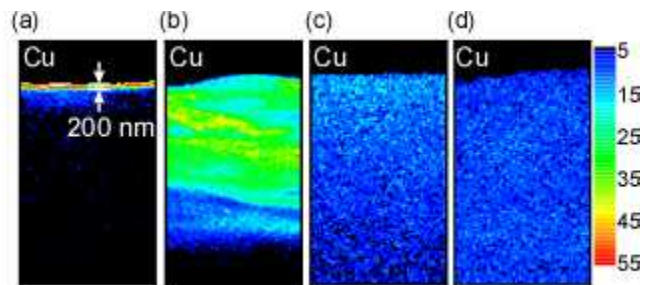


Fig.2 EPMA による GO 内部 Cu 拡散現象の空間マッピング
(a)Cu 析出直後、(b)30%湿度雰囲気下 1 時間、(c)90%湿度雰囲気下 10 分、(d)90%湿度雰囲気下 1 時間

(C. Ogata et al. *Scientific Reports* 4, doi:10.1038/srep03647.)

電解酸化還元サイクルにおける電気化学キャパシタの効果

大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科） 教授 松本 泰道
大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科） 講師 鯉沼 陸央
大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科） 助教 谷口 貴章
大学院自然科学研究科 博士前期 宮本 晋輔
大学院自然科学研究科 博士後期 立石 光

1. 緒言

酸化グラフェン(GO)及び酸化グラファイト(GtO)をベースとした電気二重層キャパシタ(EDLC)電極材料の開発に関する研究が数多くなされている。これらの電極材料作製におけるGO,GtOはそのほとんどが多段階のプロセスを要したHummers法により作製されている。本研究では、炭素電極を電解酸化することによりGtO電極を作製、電解還元することによりCH欠陥の多い還元されたGtO(rGtO)電極を作製した。rGtO電極はCH欠陥が多く、高い電気化学二重層容量を示した。電解酸化還元を繰り返すと初期酸化と再酸化では反応機構が異なることがわかった。

2. 実験

グラッシーカーボン(GC)電極を作用極、白金線を対極として支持電解質(0.1 M Na₂SO₄ 溶液)中で電解酸化によりGtO 電極を作製後、電解還元により rGtO 電極を作製した。また、同様の方法で再酸化、再還元を繰り返した。各電極の EDLC 電極特性は IV 測定により評価し、工学研究機器センターに設置された XPS、AFM、Raman 分光法等により表面構造解析と組成分析を行った。

3. 結果及び考察

図(a)は電解酸化還元を繰り返した際のGtO_nとr_nGtO電極の電気容量の変化を示している(nはサイクル数を表している)。+2.0 Vで電解酸化した場合、酸化還元サイクル数とともにr_nGtOの電気容量が増加することがわかった。一方、1.7 Vと1.5 Vで電解酸化した場合、電気容量は増加しないことがわかった。XPSの結果から初期の電解酸化ではエポキシ基などの酸素官能基が形成され、これを還元するとCH欠陥ができることがわかった。一方、再酸化すると酸素官能基ではなくC=Cが形成し、再還元するとCH欠陥に変化し、再酸化、再還元を繰り返した際にこの反応が可逆的に起こることがわかった。図(b)より電気容量の増加にはCH欠陥の増加が起因しているということも明らかになり、CH欠陥が疑似キャパシタとして働いていると考えられる。この電気容量は約5×10³ F/gであり、これまで報告されているGOをベースとした電極の電気容量の10倍の大きさを示した。

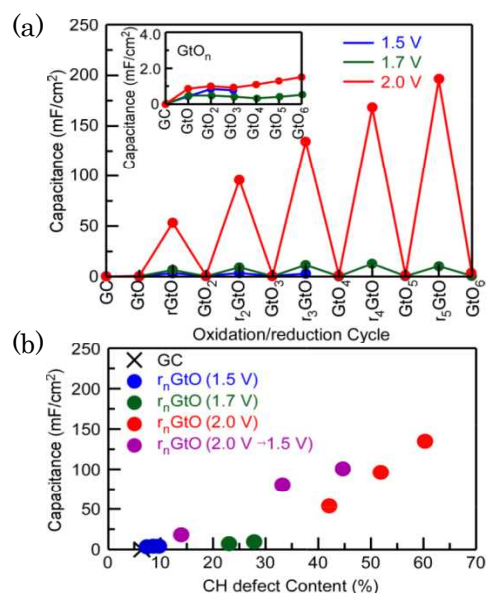


図 (a)電解酸化/還元の繰り返に伴う電気容量の変化

(b)CH 欠陥の含有量と電気容量の相関図

電解酸化グラファイト電極の作製

大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科） 教授 松本 泰道

大学院自然科学研究科（工学部物質生命化学科） 講師 鯉沼 陸央

大学院自然科学研究科 博士前期 宮本 晋輔

大学院自然科学研究科 博士後期 立石 光

1. 研究背景

酸化グラファイト(GtO)または凝集した酸化グラフェン(GO)は特異的な性質を有していることから様々な電極デバイスへの応用が期待されている。その特異的で優れた特性はその酸化度や不純物の影響を非常に受ける。一般的にGtOはHummers法により作製されるが、この方法は強力な酸化剤や高温を必要とするため、不純物の混入を避けることができず、酸化度を制御することも難しい。そのため、より簡便な方法でかつ酸化度を制御できる方法で作製することができればさらなる応用の可能性が期待される。また不純物の混入していないGtOで調査することも非常に重要である。本研究において、純水中で炭素電極に高電圧を印加するという、ワンステップでより簡単な方法で電解酸化されたGtO電極を作製することに成功した。また、XPSによる官能基のマッピングを行うことで酸化度を制御できることも確認した。

2. 実験操作

高配向熱分解黒鉛(HOPG)を陽極、金線を陰極として HOPG 上に滴下した純水中で直流電圧を印加(電解酸化)することにより GtO 電極を作製した。その後、HOPG 電極表面の官能基のマッピングを工研設置の XPS により行った。

3. 結果及び考察

図(a)は HOPG 電極表面を電解酸化する際のモデル図を示している。また、図(b)は電解酸化処理後の HOPG 電極表面の XPS 測定結果を表している。図(b)のマッピングの結果から中心(point A)に近づくにつれ、C=C 結合は酸化され COC 結合となることがわかる。このことから純水中で HOPG 電極を電解酸化することで不純物を含まない GtO 電極を作製することができ、また印加電圧の大きさを制御することで酸化度も制御することができたことがわかった

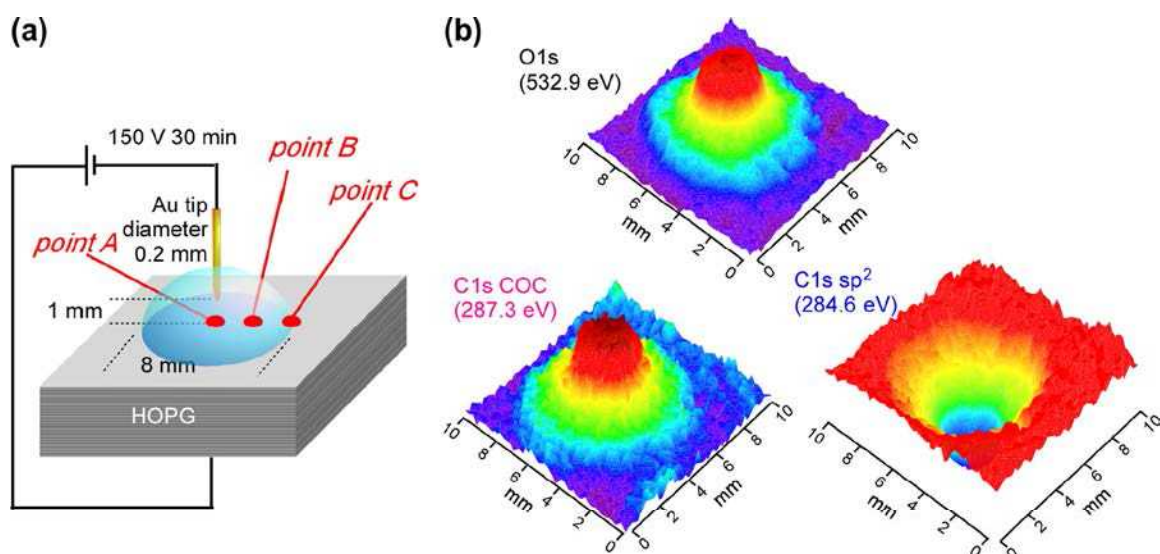


図. XPSを用いた電解酸化HOPG電極表面の官能基のマッピング

C₆₁ フラーレンと電子線照射によるグラフェン形成 およびパターニング手法開発に関する研究

大学院自然科学研究科	後期課程	松川 誠也
〃	前期課程	今村 友紀
〃	前期課程	松尾 経太
大学院自然科学研究科	教授	久保田 弘
熊本大学 工学部	技官	吉岡 昌雄

グラフェンは炭素原子で構成されるダイヤモンドなどの同素体である。1 原子層で構成された 2 次元材料であり、半導体材料として主流であるシリコン(Si)の 100 倍以上の電子移動度を持ち、微細化限界に到達しつつある LSI・C-MOS デバイスにおける Si の代替材料として注目されている。グラフェンの主な製法として、剥離・スタンプ法、SiC 基板を高温処理、溶剤分散グラフェンの基板上塗布法が存在する。どれもマスコプロダクトには適応していなかったが、近年、プラズマ CVD によるグラフェン成膜手法の登場で基板への直接製膜を可能とし量産に向けた問題は解決しつつある。しかし、電子移動度がシリコンと同程度であったり、回路パターニングに多くの追加工程を必要とする等、コストや作業時間の増大が問題に挙げられている。本研究では独自手法としてフラーレンの結合を破壊し、アニールによるグラフェンシートを生成することで任意の場所にグラフェンを直接作製・同時にパターニングまで行うことが可能である手法を提案する。

次に大まかな実験内容を示す。C₆₁ フラーレンを有機溶剤に溶かしスピンコートを用いて SiO₂ 上に塗布する。サンプルをベーク・長時間アニールにより塗布した有機溶剤を取り除く。その後電子線照射により結合を破壊する。パラメータは電子線のビーム電流値と露光時間とする。次にアニール処理を施しサンプル形成を行う。パラメータはアニール温度と時間としている。例として 1200℃ 1 時間アニールでのラマンスペクトルを図 1 に示す。1350cm⁻¹ 付近において G バンド・2700cm⁻¹ 付近に 2D バンドが検出され、グラフェンの様相を示している。ここから更に温度変化によるスペクトルの推移等を計測し、グラフェン形成最適化のための実験を行う。図 2 には CAD を用いたパターン手法と電子線照射後の構造変化部分について示している。これにより、膜形成とパターニングを同時に行うことが可能であることがわかる。

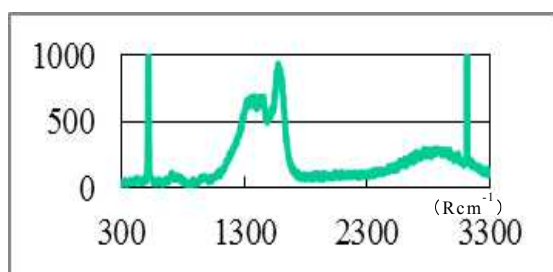


図 1：1200℃1 時 h アニールサンプル
でのラマンスペクトル

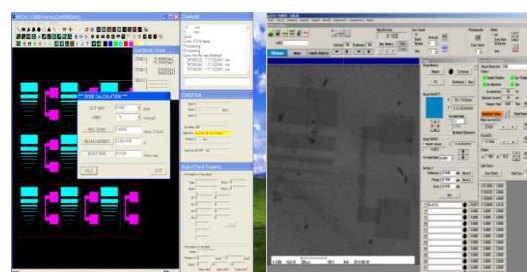


図 2：CAD を用いたパターン手法と
電子線照射後の構造変化

レチクルフリー露光装置を用いた 伸縮基板対応アライメント方式の開発

情報電気電子工学科
大学院自然科学研究科
〃

教授
前期課程
〃

久保田弘
横山聡
刀根輝徳

1. はじめに

1. 研究背景

我々の身の回りにはノート PC やスマートフォンに代表される小型情報機器が多数存在する．これらにはフレキシブルプリント回路基板(FPC : Flexible Printed Circuits)が採用されており，FPC 基板がこれらの機器の小型化，軽量化，高機能化に応用されている．しかし一方で，パターンニング工程の際に不均一な歪みが発生する欠点があり，この歪みによってそれ以降の工程でアライメントを行うことが困難となる．これを解決するため，実際に歪みが発生したパターンを解析することで最適なコンタクトホールを作製する手法を考案した．

2. 原理

配線パターン(以下，パターン A)とそれが歪んだものを想定したパターン(以下，パターン B)を用意し，それぞれのコンタクトホールを検出する．その後，パターン A のコンタクトホールを頂点としてパターン A にドロネー三角形分割を施し，図 1 のように三角形メッシュを作成する．その後にパターン A とパターン B の等関係の各三角形に対してアフィン変換行列を求めることで，その三角形内での変化率を得ることができる．これを全ての三角形において行い，得られた行列を用いて以降の露光パターンを補正する．

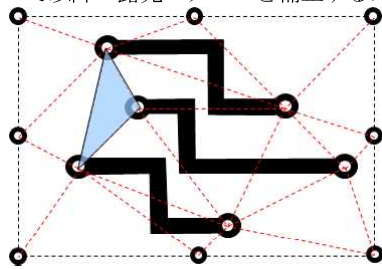


図 1 : 配線パターンと三角形メッシュ

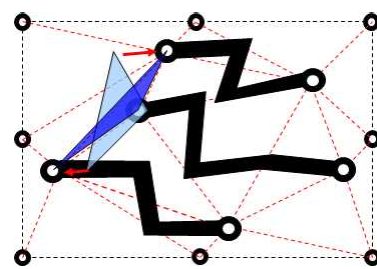


図 2 : 歪んだ配線パターンと三角形メッシュ

3. ソフトウェア作成

このシステムを開発するに際して，C#を用いて画像読み込みから補正後画像出力までを行うソフトウェアを作成した．主な機能は以下の通りである．

- 画像の入出力を行う．
- ドロネー三角形分割におけるある点の包含判定，局所最適判定を行う．
- アフィン変換のために3元1次連立方程式の解を求める．
- 求めた行列を用いて入力された画像を補正する．

4. 結果

配線が歪んだパターンのアフィン変換行列を露光パターンに適用し，適用前後の画像を歪んだ配線パターンに重ねあわせると図 3(a)と図 3(b)が得られた．図 3(a)と図 3(b)でコンタクトホールのカバー率を調べると，図 3(a)の場合は非常に低いカバー率であったが，図 3(b)ではカバー率が平均で 90%を超えるという結果が得られた．

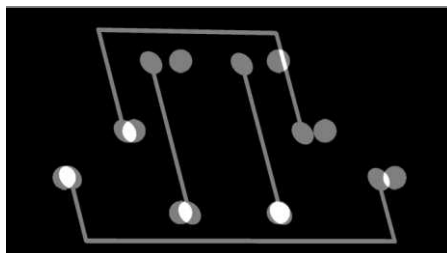


図 3(a) : 補正前露光パターン重ねあわせ

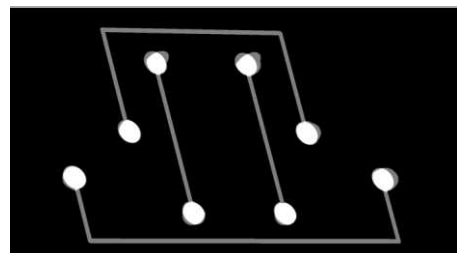


図 3(b) : 補正後露光パターン重ねあわせ

パルス光伝導法を用いたマルチ測定装置の開発

大学院自然科学研究科	前期課程	清水	公志郎
〃	前期課程	深	純平
大学院自然科学研究科	教授	久保田	弘
熊本大学 工学部	技官	吉岡	昌雄

はじめに

近年、LSIの高集積・高性能化によってゲート酸化膜の薄膜化が進んでいる。それに伴い、リーク電流の生じやすさが問題となり、ゲート酸化膜の絶縁性能の評価にはより信頼性の高い技術が必要となってきた。ゲート酸化膜の信頼性を得る従来の方法は破壊試験である。しかし、この方法の場合、サンプル抜き取りによる歩留まりの低下、などといった欠点がある。今後、半導体産業がさらなる拡大をしていく中で、高い歩留まりを維持したハイスループットなインライン検査技術の必要性は高まっていく。そこで本研究では絶縁膜の非破壊・非接触の電気的特性の直接評価方法としてパルス光伝導法(PPCM)による新しい絶縁膜特性評価技術を提案し、この方法を応用した計測装置開発を目指す。

パルス光伝導法とは

パルス光伝導法とは、電圧を印加した薄膜試料に光を照射することで光励起電子を生成し、生成した励起電子を薄膜内伝導させることで試料内の内部電界の緩和を観察し、薄膜の電気的特性の評価を行う方法である。プローブ電極を用い非接触で試料に電圧を印加し、その一定時間後にパルス光の照射を行う。パルス光伝導法による測定の様子をFig1に示す。電圧を印加したt時間後にパルス光を照射すると、薄膜内電界に沿った励起電子の挙動がFig2に示すような光信号として観測される。内部電界の時間変化率は薄膜の伝導率と誘電率からなる時定数に支配されるため、パルス光を入射するまでの時間tを変化させることで光信号の時間変化を観測し、絶縁膜の電気的特性の評価を行うことができる。

マルチ測定装置

ハイスループットな計測のためには1ポイント毎の測定装置ではなく、多数のポイントを同時に測定できる装置が必須である。現在、300mmウェハを1万ポイント/分で計測することを目標としたマルチ測定装置を実現するために、セラミック基板上に電極メッキを102本施したマルチプローブ電極を用いて開発を行っている。

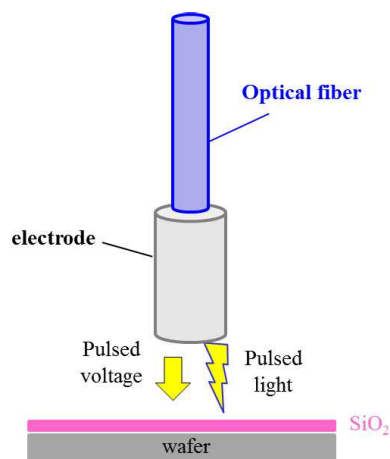


Fig1 : Pulse Photo-Conductivity Method



Fig2 : Signal by Pulse Photo-Conductivity Method

相関法による空間中の微小パーティクルモニタリング

情報電気電子工学科
大学院自然科学研究科

教授
前期課程

久保田弘
田中利明
有田龍之介

1. はじめに

1. 研究背景

気流計測には現在、一般的に熱式風速計が用いられている。しかしながらこの検出手法は、1点で観測する定点計測であるために広い視野での一括計測が難しく、風向きの計測もできない。そこで本研究では、イメージセンサカメラによるクリーンルーム内での気流の空間分布検出の新手法として、相関法による空間中の微小パーティクルモニタリングを提案し、広い視野で一括して気流を計測し、気流分布を求めることを可能とする計測装置開発を目的としている。

2. 原理

相関法とは、検出範囲内で動いている粒子に光を照射することによって発せられる散乱光強度の時間的揺らぎを測定し、相関をとることによって、粒子の情報を得るというものである。本研究では、2ヶ所の検出領域から発せられる散乱光強度の時間的揺らぎを測定し、相関をとることによって2ヶ所間を移動する粒子の速度を求める。ある間隔で区切られた2つの散乱光検出領域を用いて、2つの領域A,Bそれぞれで散乱光強度を測定し、相互相関関数(図1)により相関を取ることで2箇所間を移動する粒子の速度を算出し、気流を推測する。

相互相関関数

$$G_{ab}(\tau) = \frac{\langle \delta F_a(t) \cdot \delta F_b(t + \tau) \rangle}{\langle F_a(t) \rangle \langle F_b(t) \rangle}$$

$G(\tau)$: 相互相関関数
 $F(t)$: 時間 t に検出した散乱光強度
 $F(t + \tau)$: 時間 $t + \tau$ に検出した散乱光強度
 τ : 遅れ時間
 $\langle \rangle$: $\langle \rangle$ 内の時間平均
 $\delta F(t)$: 時間 t における散乱光強度と平均光強度との偏差

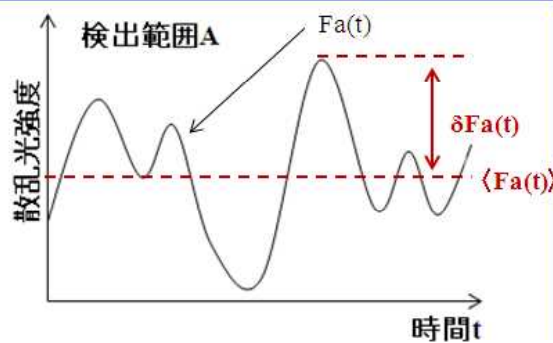


図1: 検出範囲Aにおける散乱光強度

図1: 相互相関関数

3. 実験方法

本手法による予備的実験では、CCD カメラとキセノンフラッシュランプを使い散乱光強度を測定した。空間中に漂うパーティクルにキセノンフラッシュランプの光を照射し、キセノンフラッシュランプの90度に位置するところからCCDカメラで2つの検出範囲A,Bからの散乱光を取得した。検出範囲Aのデータの散乱光強度と検出範囲Bのデータの散乱光強度で相関をとり、最も相関が高いときの時間と、2つの検出範囲間の距離から風速を算出した。このとき、2つの検出範囲間の距離は、検出範囲Aの中心から検出範囲Bの中心までの距離としている。

4. 結果

以下に実験の結果を示す。

[mm/s]		
実験1	相関法による風速推定値	31.25
	実測真値	23.68
実験2	相関法による風速推定値	31.25
	実測真値	36.5
実験3	相関法による風速推定値	20.8
	実測真値	46~64.8
実験4	相関法による風速推定値	31.25
	実測真値	39.8

表1: 実験結果

表1中、相関法による推定値は実験3以外は実測真値の±20%以内に入っていることを確認した。実験3が実測真値と大きく異なっている理由は、気流の乱れが原因である。

- 陽極酸化アルミナ基板上へのグラフェン作製 -

大学院自然科学研究科	前期課程	伊崎 貴生
〃	前期課程	松尾 経太
〃	後期課程	松川 誠也
大学院自然科学研究科	教授	久保田 弘
熊本大学工学部	技官	吉岡 昌雄
九州三井アルミニウム工業株式会社		蓮尾 俊治

1.背景

グラフェンは炭素原子が蜂の巣のような六角形格子構造をもった平面上に広がった 2 次元の物質である。理論上ではシリコンの電子移動度の 2000 倍、実験的にも 200 倍 ($200000\text{cm}^2/\text{Vs}$) の移動度を持つことが確認されている。そのため微細化限界に到達しつつある LSI や CMOS デバイスにおける Si の代替材料として期待されている。現在は Si 基板上のゲート部分に応用されており、MOSFET と比較しても遜色のない遮断周波数・駆動周波数が報告されている。しかし、グラフェンは金属の性質を持っているため、FET(電界効果トランジスタ)におけるスイッチング制御が不可能である。そこで、グラフェンにバンドギャップを持たせ半導体特性に変化させることで、グラフェンの高移動度を持たせつつスイッチング機能を持たせることが可能であると考えられており、グラフェンを主とした FET を実現させ、MOSFET を超える新たな素子開発が進められている。

2.理論

グラフェンリボンは欠陥・孔・不純物の置換や吸着を施すことによって電気特性を変化させる事ができる。また、アルミニウムを酸性電解液中で陽極酸化させると、表面に多孔性の酸化被膜が生成される。生成した酸化皮膜は広範囲にわたって自己組織的に微細で規則正しいナノポーラスを(微細孔)構造を形成する。本研究ではアルミニウムを陽極酸化させたアルミナが規則性を持つ孔を持つことを利用して、アルミナ上にグラフェンを作成し、グラフェンリボンを周期的に変調させることにより、グラフェンの電気特性を変化させる。

3. 実験

アルミニウムの陽極酸化処理により、孔径が 100nm 以下で周期的なポーラスアルミナを作成する(Fig.1). 作製したポーラスアルミナのみを逆電界剥離し、その表面にマグネトロンスパッタ法を用いて SiO₂ を成膜する. その後、本研究室のグラフェン生成法である Electron Beam 法(基板上へ塗布したフラーレンの結合を電子線で破壊し、アニールによりグラフェンシートを生成する方法)を用いてアルミナ基板上へ変調グラフェンを成膜する(Fig.2). さらに、電気特性計測を行い、平面の Si 基板上に作製したグラフェンとの電気伝導率との比較を行う.

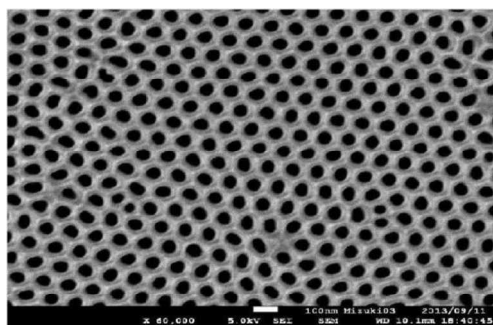


Fig.1 SEM image of anodized porous alumina

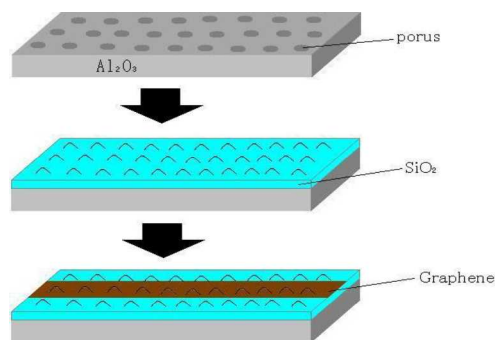


Fig.2 Form a graphene film on alumina substrate

フォトリソグラフィを用いた変調 SiO₂ 基板上への グラフェン成膜とその特性評価に関する研究

情報電気電子工学科	教授	久保田弘
大学院自然科学研究科	前期課程	西口博樹
大学院自然科学研究科	前期課程	刀根輝徳
大学院自然科学研究科	後期課程	松川誠也
熊本大学工学部	技官	吉岡昌雄

1. はじめに

これまで半導体素子は微細化や集積化が要求されてきたが、現在のシリコンを用いた半導体での微細化や集積化には限界が達そうとしている。そのため、その代わりにシリコンの 10 倍以上の高い移動度を持ち、次世代の半導体材料として期待されている物質グラフェンという材料に関心が寄せられている。その構造は特殊なもので、炭素原子が蜂の巣のような六角形格子構造で結合し平面上に広がった二次元性物質となっている。しかし、グラフェンは図.1 のようなバンド構造を持っており、通常は半導体デバイスとして用いるのに必要なバンドギャップが存在しないため、バンドギャップを生じさせる研究が盛んに行われている。

2. 研究方法

グラフェンが持っている六角形格子構造を変化させることにより、格子間隔が変化する部分が現れる。これによって、 $k=\pi/a$ (k : 波数, a : 格子間隔) から格子間隔が変化し、通常の k 以外にもバンドギャップが生じることが指摘されている。また、炭素が結合しサッカーボールのような球構造をしているフラーレンに電子線を照射することで、その球構造を破壊し、アニール処理をすることで、グラフェンが生成されるという研究がある。(図.2) この手法を **Electron Beam 法** と呼び、変調基板上にグラフェンを生成させるにはこの手法を用いる。本研究では、レチクルフリー露光装置を用いたフォトリソグラフィで変調基板を作成し、その基板上にバンドギャップをもつグラフェンを成膜させることを目的としている。

3. 実験方法

永久膜レジストを用いたフォトリソグラフィにより、数 μm 程度のライン&スペースの変調をかけた基板を作成する。凹凸を持っている基板上に、**Electron Beam 法** を用いて変調グラフェンを成膜する。製膜されたものをラマンスペクトル及び電気特性を計測し、平面上に成膜した通常のグラフェンとの比較を行う。

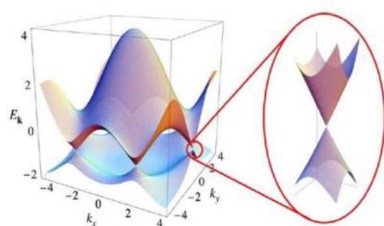


図 1.グラフェンのバンド図

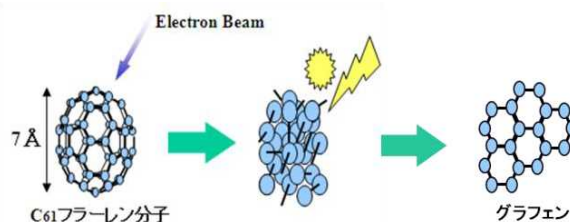


図 2.エレクトロンビーム法

浮遊パーティクル検出手法の開発と その気流可視化への応用

大学院自然科学研究科 前期課程 田中 利明

〃 前期課程 有田 龍之介

大学院自然科学研究科 教授 久保田 弘

熊本大学 工学部 技官 吉岡 昌雄

1. 研究背景と目的

半導体デバイス微細化・高集積化に伴い、故障の要因となるパーティクルの大きさが年々微小化しており、パーティクルによる歩留まりの低下が問題視されている。そのため、クリーンルーム内のより厳密なパーティクル管理を行う必要性がある。

本研究では空間中の粒子に光を照射した際の散乱光を取得することにより、パーティクルの移動方向、速度、パーティクルの濃度を可視化する。これによりどのエリアに粒子が多いかやどのエリアにパーティクルが流れているかを判別することにより、パーティクル対策を施すことが可能となり、歩留まりを高く維持することができると考えている。

2. 理論

本研究では $5\mu\text{m}$ 程度の粒子を計測できる。その粒径の散乱強度を表すものとしてフラウンホーファーの回折式がある。光強度 $I(\theta)$ とし、(I)式で表す。入射角の進行方向からはかった散乱角度 θ とする。また、 J_1 は一次の Bessel 関数である。なお、 α は(II)式で表される。波長を λ 、球形粒子の半径を a とする。

$$I(\theta) = \frac{\alpha^2}{4\pi} \left[\frac{2J_1(\alpha \sin \theta)}{\alpha \sin \theta} \right]^2 \cdots (I) \quad , \quad \alpha = \frac{2\pi a}{\lambda} \quad (\text{粒径パラメータ}) \cdots (II)$$

$5\mu\text{m}$ 程度の粒子では全散乱光量は粒径の 2 乗にほぼ比例するようになる。粒径が小さくなるほど、光の散乱が弱くなることが (I) 式に含まれている (II) 式の α より理解できる。

3. 実験方法

本実験ではキセノンフラッシュランプの光をパーティクルに照射することにより発せられる散乱光を取得することにより、パーティクルの可視化を行う。これにパーティクルの濃度分布を直感的に理解することができる。

また、粒子の移動方向や速度を測定するために空間中に霧吹きで水を噴霧し、気流の可視化を行う。実験で使用するタイミングチャートは図 1 に示す。この実験では離散的な光源であるキセノンフラッシュランプに加え、連続的な光源である LED ライトを使用する。離散的で強度が強い光源であるキセノンフラッシュランプを照射することで図 5.2 に示す撮影データイメージの赤い点のようになる。そして、連続的な少し強度が弱い光源である LED ライトを用いることで、図 5.2 に示す撮影データイメージの黄色の線になる。黄

向きや気流の速
が
できる。

色の線から気流の
度を測定すること

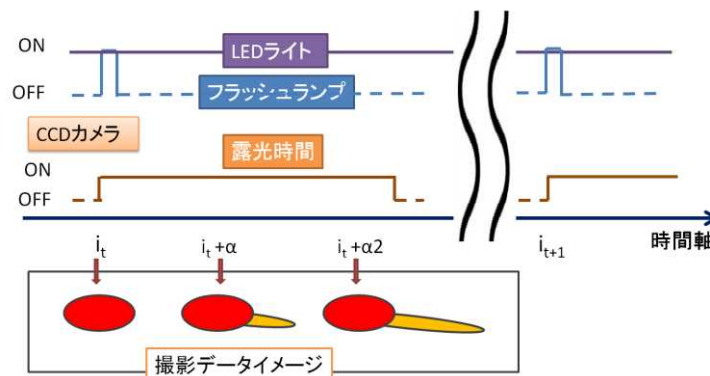


図 1: タイミングチャートと撮影データイメージ

陽極酸化穴構造上への変調グラフェン作製に関する研究

大学院自然科学研究科	前期課程	松尾経太
大学院自然科学研究科	前期課程	伊崎貴生
〃	後期課程	松川誠也
情報電気電子工学科	教授	久保田弘
熊本大学工学部	技官	吉岡昌雄
九州三井アルミニウム工業株式会社		蓮尾俊治

現代の情報化社会の発展の背景には、様々な電子機器の中核を担う集積回路の高性能化がある。集積回路の高性能化は、その基本素子であるトランジスタの微細化によって達成されてきた。しかし、従来のシリコンを材料としたトランジスタの微細化による高性能化は、限界に近づいている。そこで、新材料による性能向上が研究されており、シリコンの 100 倍もの電子移動度を持つ炭素材料グラフェンが注目されている。グラフェンは炭素の 2 次元シートであり、鉄の 100 倍の強度と 6 倍の弾性を持つ。シリコンを高い電子移動度を持つグラフェンに置き換えれば、高応答性のトランジスタが実現できる。しかし、グラフェンは金属（詳しくは半金属）であり、半導体の持つバンドギャップがない。バンドギャップなしでは、グラフェンをスイッチングトランジスタの材料として使用した場合に電流を十分に遮断できない。本研究では、グラフェンを半導体化させ、バンドギャップを持たせることを目的としている。

グラフェンリボンには欠陥・孔・不純物の置換や吸着を施すことにより、電気特性を変化させることが可能である。本研究ではグラフェンを歪みや穴の並んだ金属基板へ成膜し変調させ、電子の移動を妨げる構造にすることで、抵抗率の増加による半導体化を狙う。そこで、アルミニウムを陽極酸化させたアルミナはナノスケールの規則性のある孔を持つことを利用して、アルミナ上にグラフェンリボンを作製し、グラフェンを周期的に変調させる。グラフェン成膜は Electron Beam 法（EB 法）を用いる。EB 法とは電子線を用いた本研究室独自のグラフェン生成方法である。

サンプル作製後、平面のシリコン基板上に作製したグラフェンとの電気伝導率の比較を行い、抵抗率の増加を狙う。

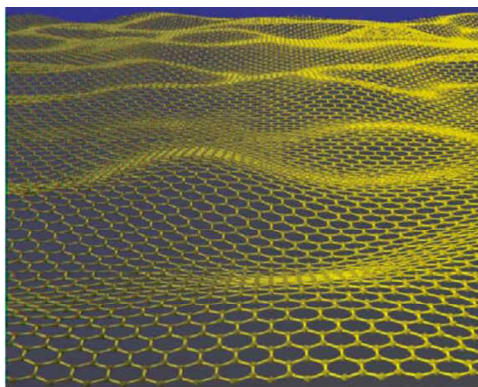


図 1：変調したグラフェンのイメージ図

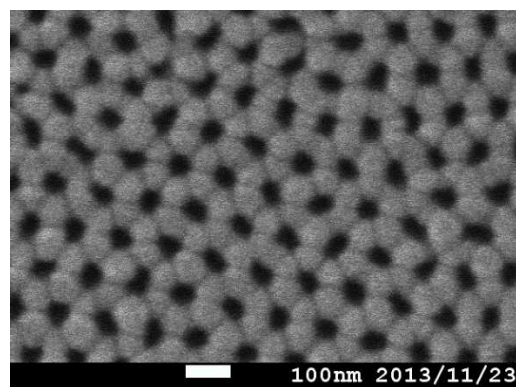


図 2：アルミナ表面の SEM 画像

パルス光伝導法におけるマルチフラッシュシステムを用いた 絶縁酸化膜評価装置の開発に関する研究

大学院自然科学研究科	前期課程	深 純平
〃	前期課程	清水 公志朗
大学院自然科学研究科	教授	久保田 弘
熊本大学 工学部	技官	吉岡 昌雄

1. はじめに

MOSFET におけるゲート絶縁膜の信頼性は、デバイスの性能を左右するため非常に重要である。そこで、我々の研究室では非破壊・非接触で絶縁膜の電気伝導度を計測できる方法としてパルス光伝導法（PPCM）を提案している。PPCM を、実際に生産プロセスの現場で利用してもらうには、ハイスループット化が必須であるため、現在、300mm ウェハ 1 枚当たり 1 分のスループットで 1 万点計測することを目標としたマルチ計測が可能な PPCM 評価装置の開発を行っている。

2. パルス光伝導法

パルス光伝導法とは、電圧を印加した薄膜試料に光照射することで生成した光励起電子を、薄膜内伝導させることで試料内の電界緩和を観察し、薄膜の電気的特性の評価を行う方法である。図 1 はパルス光伝導法の原理図である。電圧を印加した t 時間後にパルス光を照射すると、薄膜内電界に沿った励起電子の挙動が光信号として観測される。内部電界の時間変化率は薄膜の伝導率と誘電率からなる時定数に支配されるため、パルス光を入射するまでの時間 t を変化させることで光信号の時間変化を観測し、絶縁膜の電気的特性の評価を行うことができる。

3. マルチフラッシュシステム

PPCM で必要な、短波長で高い繰り返し周波数を持つ光源にレーザー光源を使用した場合、コストが非常に高くなる。そのため、光源として安価な Xe フラッシュランプを使用する。しかし、Xe フラッシュランプの繰り返し周波数は 530Hz しかないため、複数の Xe フラッシュランプとレンズ、光ファイバを用いたライトガイドを組み合わせることで高繰り返し周波数を持つ線状光源を作成した。3 台の Xe フラッシュランプから出た光をファイバカップリングでレンズによって集光し、複数の光ファイバを束ねたバンドルファイバ入射口へ照射する仕組みとなっている。それぞれの Xe フラッシュランプの発光タイミングを微小にずらす事で高繰り返し周波数を持つ光源として利用することが可能となる。また、PPCM 評価装置に利用するには、3 発のパルス光は光量が等しくなければならない。そのため、レンズと入射口との距離をファイバカップリングによって調整することで、光量の均等化も行った。

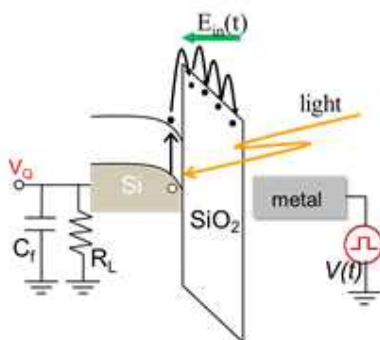


図 1：パルス光伝導法の原理図

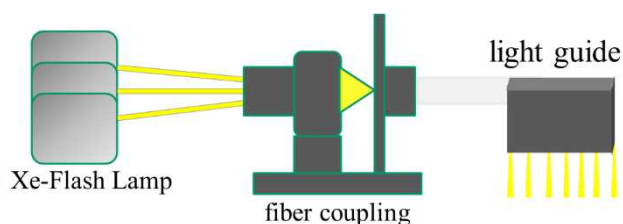


図 2：マルチフラッシュシステムの構造図

2005 年夏季の有明海における貧酸素水塊と気象・海象との相互変動特性

沿岸域環境科学教育研究センター 教授 滝川 清

工学部技術部 矢北孝一

沿岸域環境科学教育研究センター 特定事業研究員 森本剣太郎

大学院先導機構 特任助教 増田龍哉

(1) 研究の目的

有明海の貧酸素水塊は、その年の気象・海象条件等によって海域での発生分布が異なり、その発生も様々な環境要因が複雑に相互作用していると考えられる。本研究では、貧酸素水塊の発生パターン・条件の解明を目的とし、有明海における 2005 年夏季の気象・海象と溶存酸素（以下、D0）の経時変化から離散ウェーブレット変換（以下、DWT）によって、低周波成分を抽出し気象・海象との周期等の関連性について検討した。

(2) 研究の内容

8 地点で 2005 年に観測されたデータを用い解析を実施した。気象データは、沿岸域に位置するアメダス川副地点、潮位は大浦検潮所のデータを用いた。なお、D0 が $3\text{mg}/\ell$ 以下を貧酸素状態とした。筑後川からの $3000\text{m}^3/\text{s}$ を超える出水は、7 月と 9 月上旬の 2 期記録されていた。大浦の潮位変化は、6 月から 9 月にかけて 25 時間移動平均値にプラス側へのトレンドが確認できた。この期間の気温は、6 月～8 月中旬まで上昇期であり、風速は、7 月 10 日まで南風が卓越し、9 月上旬に台風の影響により急激に風向が変化していた。底層付近の D0 変化は、6 月中は高濃度の状態が継続し、小潮期の 7 月 1 日付近を境として 7 月中旬まで低下傾向を示す。その後、地点 P6, B3 が約 30 日間貧酸素化した 8 月中旬以降は、小潮期に貧酸素化する変動を繰り返していた。この変動の要因が気象・海象要素にあると仮定した。しかし各変動には、ノイズ混入があり定量化が困難であり DWT によって高周波成分を分離し低周波成分の抽出を試みた。貧酸素状態となる前駆的な主要因と、その周期性を検討するため気象要素等の低周波成分の自己相関を求めた。つぎに貧酸素化に関連する主要素の作用時期を求める意味で、各要素の低周波成分を主成分分析し主成分得点の経時変化を検討した。その結果、主成分得点の経時変化と D0 変動との関連が示唆され、第 1・第 2 成分と D0 変動の類似性を検討するため相互相関を求めた。相関値は、各要因が D0 に与える影響度、波形のピーク部を応答時間と仮定した。

(3) 主要な結論

(1) DWT よりノイズ等の高周波が除去され、B3, P6 地点の D0 が貧酸素状態になる 7 月中旬に、干潟縁辺部の T1, T3 地点では、その状態ではない。気温は、6 月～8 月上旬まで約 20 日の変動を繰り返しながら上昇し、8 月 10 日付近のピーク後、下降傾向を示している。風速は、9 月以降に北東・南西方向が卓越することが分かる。(2) 主成分分析より累積寄与率が 0.8 を超える第 1～第 3 成分を主成分とし、因子負荷量の最大値より、各成分は、第 1：降雨、第 2：風速 (N-S)、第 3：気温となった。(3) 気象要素の自己相関より、各要素に 60～14 日の長・短期の変動が確認され、7 月中旬以前に第 2 ピークがある降雨、風速、潮位等が貧酸素化に関連することが示唆される。(4) 主成分得点の経時変化より、D0 が低下傾向を示す 7 月上旬と回復傾向の 9 月上旬で支配的な要因は、降雨、風速であることが分かり、諫早湾内の B3 および有明海湾奥部西側の P6 地点が貧酸素状態となる 7 月 20 日以降は、気温が連続して 1 以上を示し、他の要因より影響が大きいことが分かる。(5) 相互相関より第 1 主成分がマイナス、第 2 主成分がプラスの値を示すことから、各地点の D0 下降には降雨、上昇には風速が影響を与えることが示唆される。その応答時間は、第 1 主成分のピーク部に注目すると、短期 10 日、長期 35 日であることが分かる。

(土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol. 69 2013)

閉鎖性沿岸海域の環境再生と防災との調和 ー沿岸域の総合的管理の実現に向けた基礎的研究ー

沿岸域環境科学教育研究センター 滝川 清
沿岸域環境科学教育研究センター 森本剣太郎
大学院先導機構 増田 龍哉

1. 研究目的

沿岸域は、海岸線を挟む陸域から海域に及ぶ区域を指し、優れた景観や豊かな生態系が形成されるなど多様な機能を有し、産業、物流、レジャーなど様々な利用が輻輳している。一方で近年の沿岸域は、津波や高潮などによる被害の甚大化や防護施設の老朽化、干潟や藻場面積の減少、沿岸域利用者間の調整など防護、環境、利用の面で種々の問題を抱えている。これらを解消し、将来世代に健全な沿岸域を引き継ぐために、沿岸域の総合的管理が中央行政や専門家を中心として推奨されている。本研究は、沿岸域の総合的管理に関する世界と日本の動向を調査し、先駆的な総合的管理を行っている地方自治体などの取り組みの分析を行うことで、我が国の総合的管理の実現に向けた今後の展望を考察した。

2. 研究方法・成果

海洋政策本部による事例集や沿岸域管理専門家へのヒアリングを通して、全国から9つの総合的管理の先駆的事例を抽出した。評価方法は「ある課題に対して、どういう経緯で、誰が実施主体として、どの対象資源を考慮して、どう管理が行われたか」に注目して、事例毎に「対象課題」、「対象課題関連分野」、「総合性評価」、「総合的管理の概要」に整理した。「対象課題」は、「利用の調整」、「海岸侵食」、「地域振興」、「水質管理」、「生態系保全」、「漂着ゴミ」、「災害への対応」の7つに区別し、最重要課題を2、その他対象課題を1、対象課題ではない場合を0とした。「対象課題関連分野」は、「漁業」、「レジャー」、「自然環境」、「海上交通」、「海上交通・港湾」、「防護」、「景観」の6区別し、関連分野であれば1、関連分野でなければ0とした。「総合性評価」は、PEMSEAの枠組みや沿岸域総合管理研究会による提言を参考にし、「実施主体の連携」、「管理責任の明確化」、「合意形成」、「複数分野の関連」、「継続・順応性」、「情報の共有」の6つについて評価基準を設定し三段階評価を行った。「概要」は、取り組みの内容や経緯、特徴をまとめた。ここで経緯について着目してみると、各自治体などでは沿岸域管理に関する課題に対し、何らかの「きっかけ」によって総合的管理の取り組みへ到達したことを得た。本研究において沿岸域総合的管理が先駆的に行われた「きっかけ」は、以下に示す2つのパターンに分類できる。

a. 国や財団法人の支援事業に選ばれた、沿岸域専門家からの要請があったなど、外部からの介入（事例番号 1,5,6,8,9）

b. 沿岸域利用者（漁業従事者、サーファーなど）や地元住民、県職員などの「海」に対する関心が非常に高い（事例番号 2,3,4,7）

このことから、沿岸域の総合的管理の取り組みを地方自治体などに促進させるためには、a.のように予算補助や沿岸域管理専門家が加わるなどの外部介入を積極的に進めることや、b.のように海に関する関心が非常に高い個人や団体、複数団体の沿岸域管理ビジョンを統一するリーダーシップを有する者などの人材育成が重要であるといえる。しかし、今現在も国や沿岸域専門家が沿岸域管理に関する情報を広く公開し、支援事業などを積極的に行っているにもかかわらず、支援事業以外のサイトでは沿岸域総合的管理がほとんど行われていない現状にある。その理由として、沿岸域総合的管理には法的義務がない、複数の所管・法をまたがるため管理を行うことが難しい、管理を行う財源がないことなどが考えられる。そこで、国が新たに「沿岸域法」を個別所管の個別法の上位法として制定し、沿岸域総合的管理計画を策定した際には補助金を支給することなど財源補助の仕組みを整えることは、取り組みの「きっかけ」になると考えられる。

(2013 年度拠点 B 報告書)

八代海「野坂の浦」におけるアマモの 好適生育環境の予測・検討

沿岸域環境科学教育研究センター 滝川 清

沿岸域環境科学教育研究センター 森本剣太郎

大学院先導機構 増田 龍哉

1. 研究背景・目的

八代海は、九州西部に位置する閉鎖性内湾であり、その海域面積は約 1200km² である。干満の差が大きく、大潮時には湾奥で 4m に達する特徴を有する。八代海の湾奥から東岸域は、かつてアマモ等の藻場が広範囲に生育し、豊かな海域環境を形成していた。近年、八代海を含めた内湾域では赤潮の頻発・長期化、水産資源の減少、水質・底質の悪化等が問題となっており、その解決策の一つとしてアマモ場の再生が重要となってくる。そのため、各地でアマモ場の造成・再生が実施されているが、アマモ場が維持されている事例は全国的に少ない。これは、造成地でのアマモ好適生育環境が明確化されないことが原因の一つであると考えられる。そこで、本研究では、八代海におけるアマモの保護やアマモ場の造成に寄与するために、芦北町地先の野坂の浦を対象地域として、アマモの好適生育環境を HSI モデルで予測・検討した。

2. 調査結果・考察

対象地域である野坂の浦は、東西・南北方向約 1.5km の佐敷川が流れ込む内湾で、佐敷港と野坂の浦間には、東西約 850m の防波堤がある。既往研究より、アマモの生育環境には水中光量と底質(含泥率・中央粒径)の影響が大きいことが示されており、モデル作成のため底質の分析とアマモの株数調査を行った。調査は 2012 年の 7 月～2013 年 12 月までの各月朔望日付近で実施した。株数調査では 0.25 cm² のコドラートを用い、目視によって計 580 地点で生育株数を計測した。底質は、360 地点の採泥を行った。この場合、干潮時に表層 5 cm の深さの底泥を採取し、潮下帯以深の地点は船上より港研式採泥器により海底面から 10 cm の深さの底泥を採取した。粒度分析は、レーザー式粒度分析器(HORIBA, LA-950V2)を使用した。なお、粒径 63μm 以下のシルトと粘土の割合を含泥率とした。中央粒径・含泥率の空間分布より、アマモの分布域での中央粒径は 0.10～0.25mm で、含泥率は 0～40% の範囲であることが分かった。この結果を既往研究成果と比較すると、野坂の浦での生育限界値は、含泥率が高い傾向を示し、中央粒径値は低い傾向を示す。確認されたアマモは 50 cm×50 cm 枠で 20 株が最大であったため、これを最大株数 1 と無次元化した。モデル値 0.2 以上に着目すると、中央粒径、0.1～0.25mm、含泥率 5～30% の範囲となるが、その範囲にありながら株数が 0 となる地点も存在している。これは、含泥率と中央粒径以外の環境要因の影響が示唆される。含泥率と中央粒径より算出した HSI モデルを利用して野坂の浦全体のアマモ株数を予測した。その結果、アマモの群落がみられた地域での予測値は良好となった。しかし、予測モデルでは、野坂の浦東側のほぼ全域でアマモが生育できることが示された。そこで、この予測モデルと実際の株数を比較すると、予測値は実測値より過大評価されることがわかった。先に述べたように、野坂の浦では南北方向にアマモが分布していたというヒアリング結果もあり、今後は、予測モデルの精度向上が課題となる。

(2013 年度拠点 B 報告書)

八代港に造成した「なぎさ線」における造成初期の生態系構築過程

沿岸域環境科学教育研究センター 滝川 清
沿岸域環境科学教育研究センター 森本剣太郎
大学院先導機構 増田 龍哉

1. 研究背景・目的

九州西部に位置する八代海は、約 1,200km² の海域面積を有している閉鎖性の強い内湾である。近年、この八代海では赤潮の頻発化、水産資源の減少等の海域環境悪化に伴う問題が顕在化しており、その原因の一つとして沿岸域の開発や海岸線の人工化による干潟やなぎさ線の減少も考えられる。なぎさ線は、多種多様な生物の生息・生育の場として機能と、食物連鎖を通じた高い浄化機能も有している。本研究では、八代海において「なぎさ線の回復」の現地実証試験を行い、造成初期の短期的な生態系構築過程について検討した結果を報告する。

2. 調査結果・考察

八代港なぎさ線は、2013年2月に八代港内の緩傾斜親水階段護岸部に造成された。階段護岸の中央部から沖合方向に湾曲状の突堤を40m張り出し、最高地盤高は平均満潮位より0.5m下げたT.P.+1.8mとし、土留堤と突堤の先端を平均水面のT.P.+0.16mに設定した。突堤先端まで傾斜を持たせ、中～高潮帯の干潟を造ることでなぎさ線を造成した。従来の研究結果より、浚渫土がなぎさ線の造成に活用可能であり、本実証試験でも八代港の航路維持で発生する泥質浚渫土を中詰材として使用した。また、なぎさ線の表面には泥分の流出を防ぐために海砂を使用するが、環境保護の観点から海砂の採取が制限されてきていることから、Paper Sludge灰造粒物（以下、PS灰造粒物とする）を覆砂における海砂の代替材として一部使用した。PS灰造粒物は、中詰材の軟弱な泥質浚渫土に勾配を持たせるための水分調整材と突堤側表層0.5mに使用している。なお、道路側表層0.5mには比較のための八代港沖の海砂を使用し、水分調整材としてはPS灰造粒物の他にクリンカアッシュも使用している。生態系の回復過程を把握するために、造成直後、4・6・8ヶ月後の計4回、地形、底質、底生生物などの追跡調査を行った。底質調査の分析項目は粒度組成、TOC、T-Nの3項目であり、生物調査は、定性調査と定量調査を行い、生物の種数と個体数を計測した。なお、調査地点は区域内が、5mメッシュで区分された77地点、区域外が19地点とした。造成直後からの地形変化は、造成後8ヶ月が経過した後もなぎさ線の形状こそ維持しているものの、全体的に浸食傾向を示している。特に縦方向10～30m、横方向60～90mの区域で15cm～20cm程度浸食され、その土砂は突堤側に堆積している。これは船舶の航跡波による影響と考えられ、中詰材の浚渫土が露出することで、含泥率が上昇している。一方、PS灰造粒物を用いている場所では浸食が少ない。これは、PS灰造粒物が固化し、岩礁状となった為である。八代港なぎさ線における造成前の種数は、アサリ等9種が確認された。造成直後は、突堤やPS灰造粒物が固化した場所にはアナアオサやアオノリの一種が確認された。造成4ヶ月後には、全域で1～2mm前後の稚ガニが確認され、その他マテガイの5mm前後の稚貝、アナジャコ的一种なども確認された。総確認種数は干潟部だけで17種と造成前の約2倍まで種数が増加し、石積みに付着した生物を含めると27種であった。造成6ヶ月後には、前回調査で確認された稚ガニが成長しており、海砂部ではコメツキガニ、PS灰造粒物が固化した部分では、潮間帯の転石部でみられるケフサイソガニが優占していた。浸食によって露出した泥質浚渫土砂部分には、泥質干潟に生息するチゴガニやヤマトオサガニがみられ、チゴガニ等を捕食するヒメヤマトオサガニも確認された。PS灰造粒物が固化した部分にはフジツボやカキの一種が付着し、それを餌にするレイシガイやイボニシが確認されるようになった。総確認種数は干潟部だけで25種と造成前の約3倍近く種数が増加し、石積みに付着した生物を含めると35種であった。造成8ヶ月後には、浸食によりアサリ等の二枚貝類の分布が減少し、ハクセンシオマネキの稚ガニが新たに確認され、前回調査と概ね同じ生物が確認された。このように、人工的になぎさ線を造成することで、海水によって運ばれてきた幼生などが着底し、造成4ヶ月後には生物がみられ始め、造成8ヶ月後まで維持されていることが確認された。

(2013年度拠点B報告書)

八代海海域における水質環境特性

沿岸域環境科学教育研究センター 特別研究員 園田吉弘

〃 教授 滝川清

熊本県水産研究センター 川崎信二

大学院自然科学研究科 青山千春

〃 齋藤孝

八代海海域における水質、赤潮データ、東シナ海北部海域における海面水温の長期観測データにより、八代海の水質環境特性について検討した。水温、塩分、透明度、DO、ph、DIN、PO₄-P、Dsiの水質実測データによるクラスター分析を行い、図-1に示すように、八代海海域を5つのグループに区分した。また、図-2のDIN、PO₄-P、Dsiの月変動にもとづく分布特性から、八代海の北部、南部、西部の海域における、10～2月の栄養塩濃度が高い状態は、海面養殖との関連性が示唆された。東シナ北部海域に開口する八代海海域における近年の水温変動は、東シナ北部海域のそれとの連動が示唆された。近年、八代海海域の全域で水温の上昇傾向が続いており、これに呼応するように、赤潮が急増していることが明らかになった（図-3）。

（土木学会海洋開発論文集 B3 特集号, Vol. 69, No.2, 2013.6）

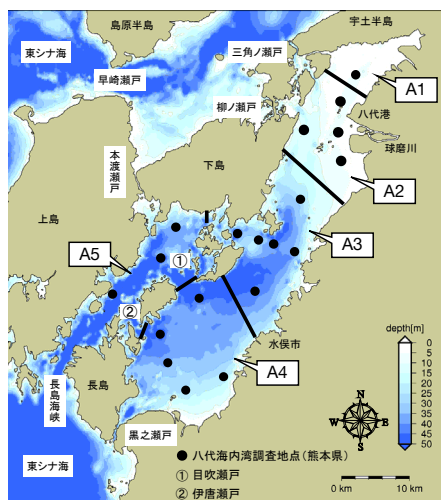


図-1 クラスター分析による海域区分
(2004/12～2012/3 の水温、塩分、透明度、DO、ph、DIN、PO₄-P、Dsi の8項目の毎月観測値、海面下5m層)

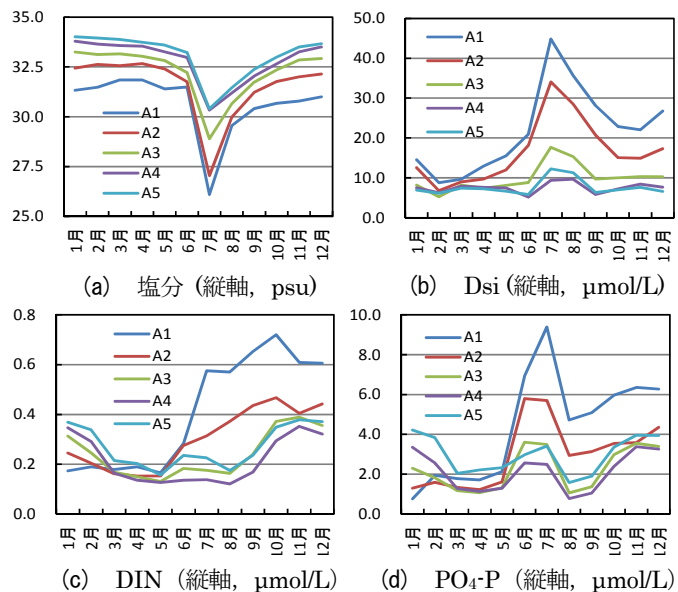


図-2 海域区分ごとの水質項目の月変動（2004/12～2012/3、海面下5m層）

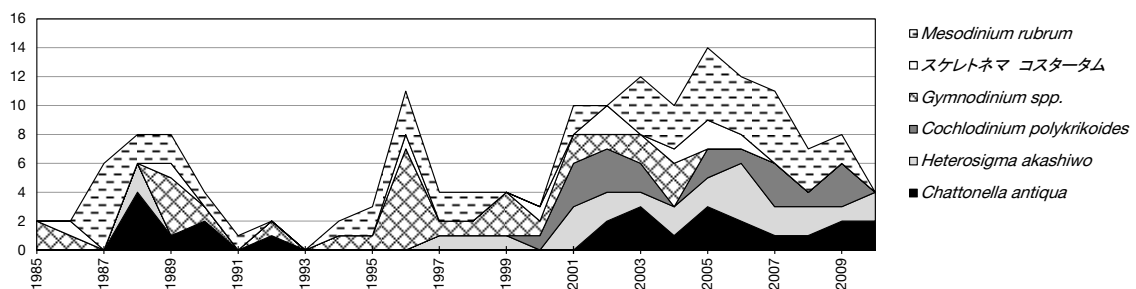


図-3 海域区分（A4+A5）における上位6種の赤潮原因生物の年間発生回数（縦軸）の推移（1985～2010）

有明・八代海海域における海水温変動と底生生物群集の応答特性

沿岸域環境科学教育研究センター 特別研究員 園田吉弘
教授 滝川清
熊本県水産研究センター 川崎信二
大学院自然科学研究科 青山千春
齋藤孝

近年、有明・八代海海域においては、水温の上昇が多く研究者により指摘されている。本研究は、水温の上昇は赤潮発生の増加要因としてだけでなく、底生生物の減少要因としての可能性を示唆した。なお、ヨコエビの種によって、貧酸素水塊の発生海域の平均分布密度の季節変動は、貧酸素水塊の非発生海域のそれに比べ大きく、貧酸素水塊の発生海域では、泥温及び泥温以外の環境要因の影響が示唆されることから、貧酸素水塊の発生海域及び非発生海域における泥温の寄与率の大きさを明らかにする必要がある。さらに、泥温上昇と底生生物の関係についての知見、泥温に関する底生生物の種ごとの知見は知られていないことから、今後、水温上昇が有明・八代海海域の海洋生態系に与える影響を調査・研究していく必要がある。本研究で明らかになった主要な結果を以下に示す。

(a) 有明・八代海海域の水温上昇は、水温が最も高い夏と次に高い秋が顕著である。(b) 有明・八代海海域の底生生物群集は、近年、節足動物が共通して減少傾向にあり、特に、節足動物の大部分を占めるヨコエビの減少傾向が続いている。(c) 底質要因と底生生物群集の多変量解析を行った結果、大部分のヨコエビは、泥温が 17.2～27.0℃の範囲において、泥温の上昇と有意の負の相関があった。(d) 節足動物の減少傾向、泥温の上昇と負の相関を持つヨコエビの特性および夏と秋における水温の上昇から、有明・八代海海域における底生生物群集の減少要因として、節足動物、特にヨコエビとナギサクーマの減少の可能性が示唆される。(e) 本論文は、有明・八代海海域において、底生生物群集の変動要因としての泥温の重要性を初めて指摘した。

(土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No.2, 2013.11)

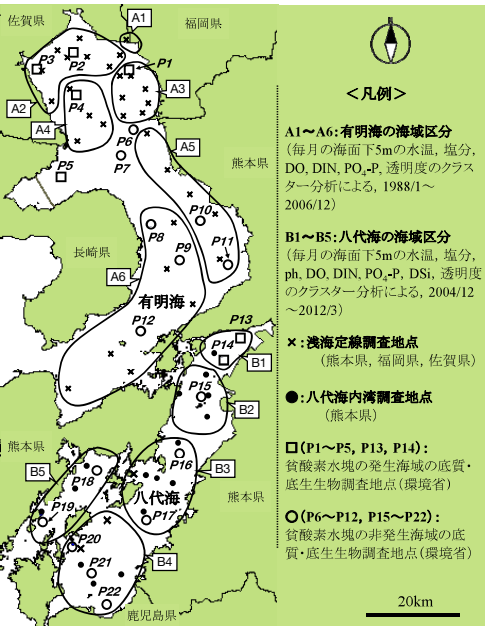


図-1 調査地点及びクラスター分析による海域区分

表-1 RDA (冗長性分析) による底質要因と底生生物群集の多変量解析結果

地点	底質要因	範囲	相関	p値	ドロクダムシ属	ヨコエビ科	ナギサクーマ科	クビナギサ	ニッポン	クダオソコ	左記以外で該当する節足動物
P4	泥温	17.8～25.3℃	正	0.015							ドロヨコエビ
P12	泥温	18.2～25.8℃	正	0.030							
P4	泥温	17.8～25.3℃	負	0.015							クチバシヨコエビ科
P5	泥温	18.0～26.2℃	負	0.025							
P7	泥温	17.2～25.1℃	負	0.015							ホソヨコエビ
P11	泥温	18.8～27.0℃	負	0.001							ホソツツムシ
P14	泥温	18.8～26.4℃	負	0.010							
P15	泥温	18.3～25.4℃	負	0.030							
P21	泥温	17.8～24.7℃	負	0.033							クチバシヨコエビ科
P8	強熱減量	1.6～2.5%	正	0.016							
P12	強熱減量	2.5～3.9%	正	0.007							
P6	COD	0.6～2.0mg/g	正	0.001							ホソヨコエビ
P19	COD	1.2～1.8mg/g	正	0.014							ワレカラ属
P10	COD	5.8～9.3mg/g	負	0.029							ヒサシソコエビ科
P12	COD	1.4～1.9mg/g	負	0.025							
P9	T-N	0.70～1.10mg/g	負	0.016							クダオソコエビ科
P17	T-N	1.78～2.15mg/g	負	0.042							ヒサシソコエビ科
P20	T-P	0.47～0.86mg/g	正	0.029							ヒサシソコエビ科
P10	TOC	8.2～10.2mg/g	正	0.020							ヒサシソコエビ科
P11	T-S	0.04～0.34mg/g	正	0.030							ホソツツムシ
P11	T-S	0.04～0.34mg/g	負	0.030							
P12	T-S	0.00～0.02mg/g	負	0.025							
地点	底質要因	範囲	相関	p値	シズガイ	ケシリ	チリハギ	左記以外で該当する軟体動物			
P6	泥温	19.0～26.5℃	正	0.011							ホトトギスガイ
P6	泥温	19.0～26.5℃	負	0.011							
P19	泥温	18.8～24.9℃	負	0.025							スイガイ科
P14	強熱減量	7.1～8.9%	正	0.019							ヨコヤマキセツガイ
P21	強熱減量	5.6～7.3%	正	0.014							スエモノガイ科
P14	強熱減量	7.1～8.9%	負	0.019							
P14	T-N	1.84～2.23mg/g	正	0.038							
P14	T-N	1.84～2.23mg/g	負	0.038							
P14	含泥率	97.2～99.5%	負	0.004							

凡例
黒は有明海、赤は八代海を示す
●は該当する種 (有明海)
●は該当する種 (八代海)
地点位置は図-1に示すとおり