

文部科学省

海洋鉱物委員会

2012 年 6 月 21 日（木）ヒアリング資料

海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム
「海底熱水鉱床探査の為に化学・生物モニタリングツールの開発」

研究代表者

高知大学海洋コア総合研究センター

岡村慶

- 資料
1. 業務参加者
 2. 委託業務内容
 3. 研究の進捗状況
 4. 今後の展開について
 5. まとめ

1. 研究課題参加者

<業務参加者>

サブグループ a. 総合化学計測システムによる実証

岡村 慶	高知大学海洋コア総合研究センター	准教授
野口拓郎	高知大学海洋コア総合研究センター	リサーチフェロー
八田万有美	高知大学海洋コア総合研究センター	技術補佐員
千葉 仁	岡山大学大学院自然科学研究科	教授

サブグループ b. 小型化学センサによる実証

藤井輝夫	東京大学生産技術研究所	教授
茂木克雄	東京大学生産技術研究所	特任研究員
下島公紀	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所	准教授

<業務協力者>

福場辰洋	海洋研究開発機構海洋工学センター	技術研究主任
許 正憲	海洋研究開発機構地球深部探査センター	技術研究主幹

<外部運営委員>

飯笹幸吉	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授
蒲生俊敬	東京大学大気海洋研究所	教授
丸山明彦	産業技術総合研究所生物機能工学研究部門	主任研究官

2. 委託業務内容

海洋資源探査の際には、マンガン・鉄・硫化水素等の熱水系から噴出している化学物質や、pH・ORP（酸化還元電位）に代表される熱水成分によって影響を受ける海水組成など、海水の化学成分の広域観測が必須となる。本業務では、海洋資源探査の為の新たな小型の化学センサの開発と実証試験を、2つのサブグループ（「a.総合化学計測システムによる実証」を行う高知大学及び岡山大学、「b.小型化学センサによる実証」を行う東京大学及び九州大学）にて実施する。

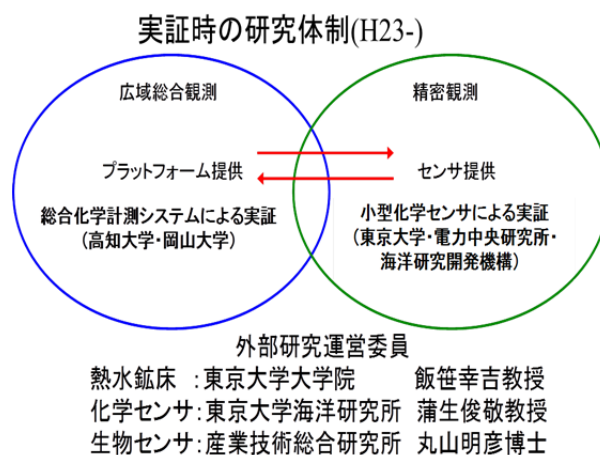


図1：H23～24年度の実証体制

a. 総合化学計測システムによる実証

化学センサと採水システムを一括して取り扱う”総合化学計測システム”を実証機として構築した。全長 4m クラスの中型自律型無人探査機 (AUV)、深海曳航カメラ (ディープ・トウ) 等、比較的大型で広域探査に向いているプラットフォームを想定している。実証機は次の 3 システムから構成される。(1) 化学センサシステムには CTD・pH・ORP・濁度など基本センサ、基盤ツールで開発の試験・実証センサなどからのデータを取得するデータロガーが含まれる。(2) 採水システムには採水&塩分計測用送液ポンプと採水ユニット (1 台あたり 32 連採水機能) が含まれる。ユニットは 1 個当り直径 8cm x 長さ 6cm を、採水筒は樹脂製チューブを想定している。(3) データロガー兼コントロールユニットは、各化学センサとデジタルデータのやり取りをし、一括で記録管理するデータロガー機能と、各化学データを用いてシステムの電源管理や採水を行うコントローラ機能、プラットフォームへデータ送信する通信機能を持つ。

広域総合探査に向けた実証システム

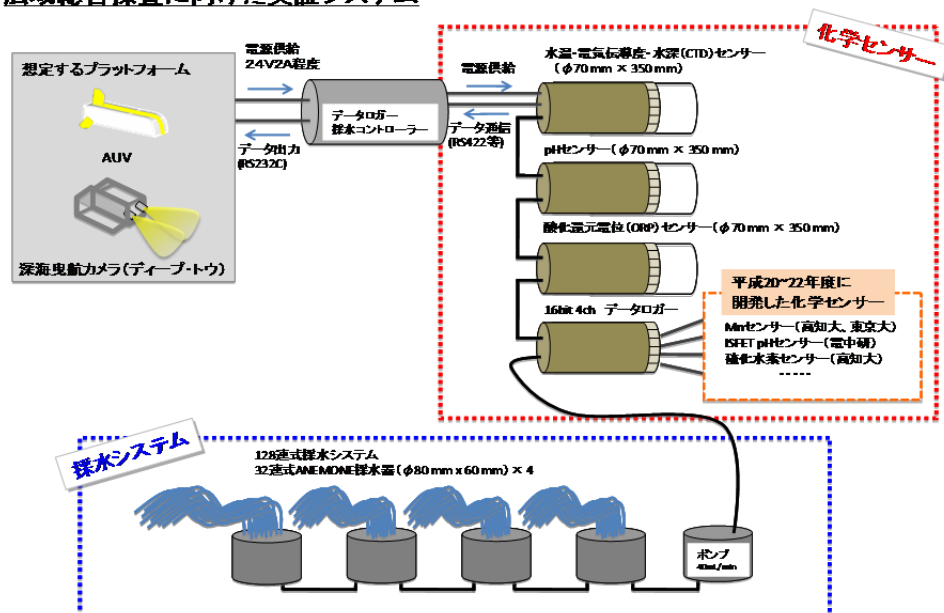


図 2：総合化学計測システム

b. 小型化学センサによる実証

平成 22 年度までに試作した化学センサの改良を引き続き行い、実証機として完成度を上げる。想定するプラットフォームは「ハイパードルフィン」などの遠隔操作型無人探査機 (ROV) や中型・小型 AUV である。他に設置観測などスタンドアロン運用も含み、狭い範囲の詳細化学マッピングを想定している。

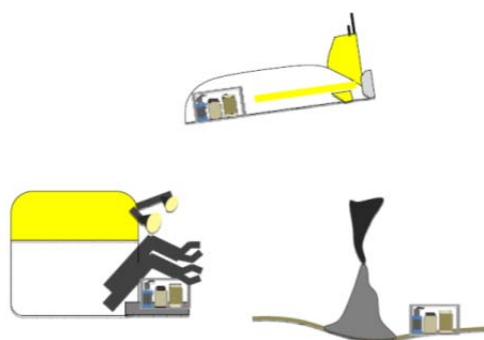


図 3：小型化学センサによる実証イメージ

3. 研究の進捗状況

a. 総合化学計測システムによる実証

高知大学では、これまでに pH、酸化還元電位 (ORP)、硫化水素 (H₂S)、CTD+濁度計の各センサと 128 連式採水器(ANEMONE-11)を含む総合化学計測システムを構築した。各センサは 1 秒毎 (硫化水素は 10 秒毎) にデータを取得する。採水器は毎分 40ml でサンプルを連続的に吸引しており、1 分以上の任意の時間間隔で採取トリガを送ることが可能である (3 分間隔で 6 時間採水可能)。採水筒の容量は 1ml (直径 1mm, 長さ 80cm)~40ml (直径 10mm, 長さ 50cm) 程度を想定している。これまで淡青丸 CTD 採水システム、うらしま、ハイパードルフィン、しんかい 6500 の公募航海に乗船し実証試験を実施してきた。

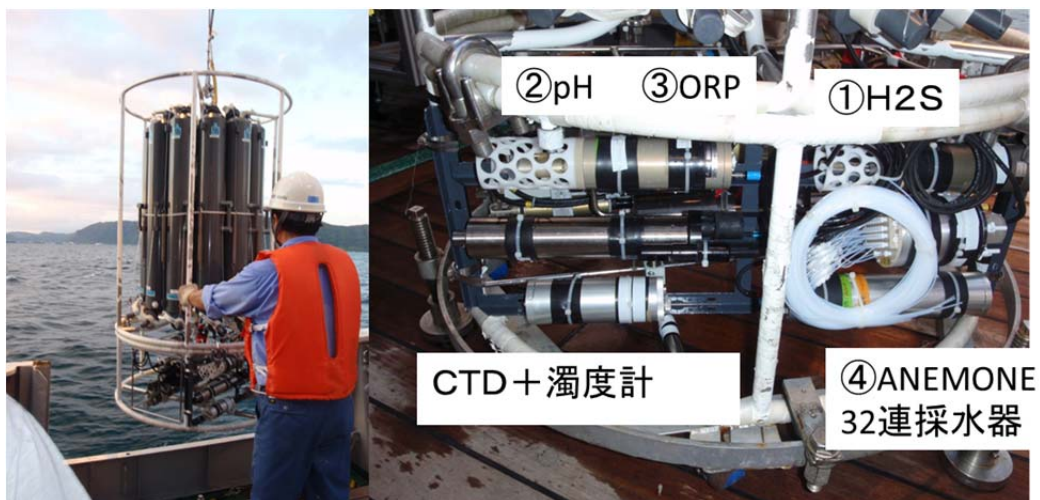


図 4：淡青丸での実証試験。採水器は 32 連式で運用。採水筒には直径 2mm 長さ 1m のテフロン管（採水量 3ml）を使用。



図 5：うらしまでの実証試験。採水器は 32 連式で運用。



図 6 : ハイパードルフィンでの実証試験

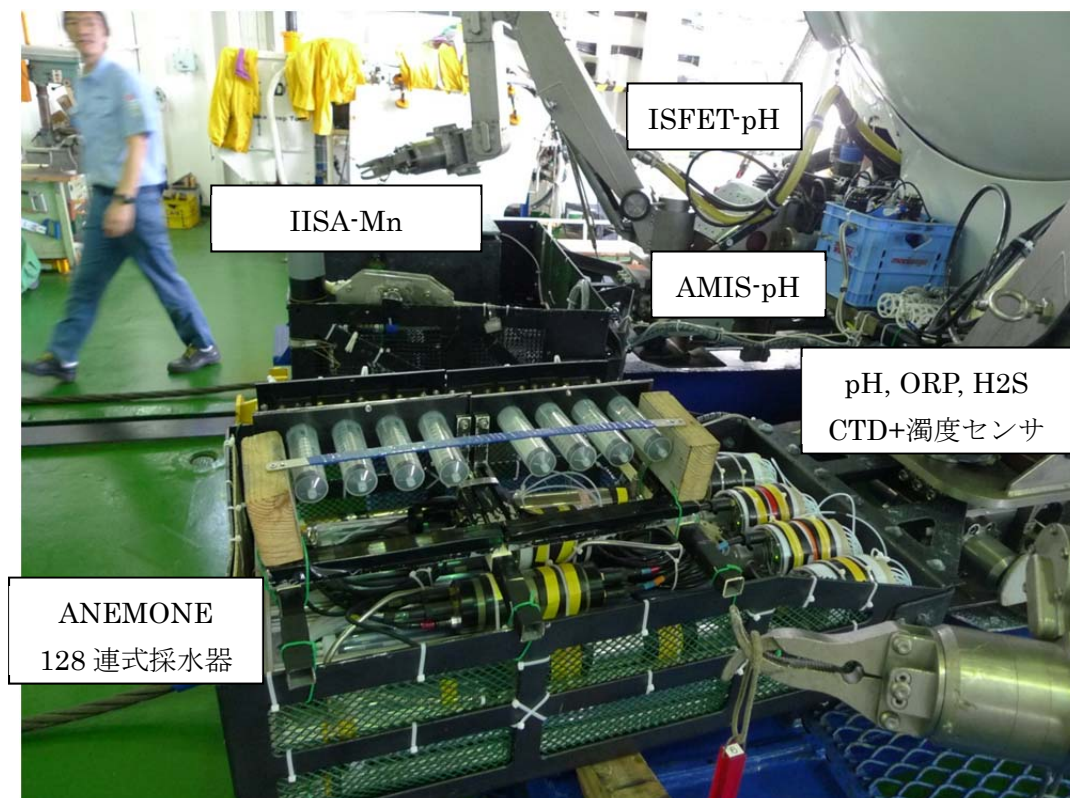


図 7 : しんかい 6500 での実証試験

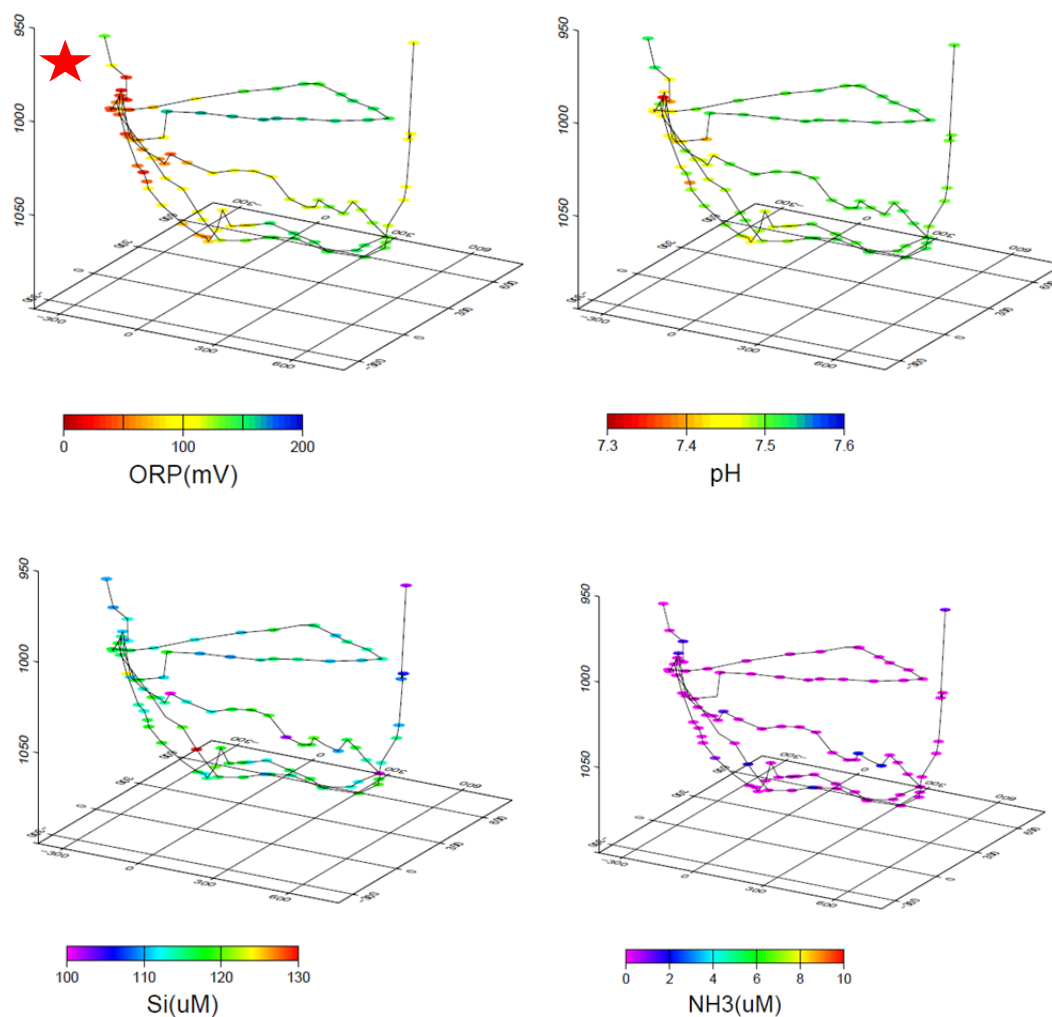


図 8 : ANEMONE による採水と分析結果。(星印の箇所高温熱水噴出孔有り)

観測の一例として、しんかい 6500 での熱水域の採水観測結果を図 8 に示した。3 分毎のサンプリング間隔で計 6 時間 12 分、128 サンプルの取得に成功した。星印の箇所に高温熱水噴出孔が存在している。ORP、pH を見ると熱水ブルームが地形に沿って下がりながら広がっている様子が見える。また従来センサでの測定が困難な組成の例としてケイ素、アンモニアの分布を示した。どちらの元素も熱水から供給されているが、ケイ素は ORP とよく似た挙動を示している。アンモニアはパッチ増加している箇所が見えるなど挙動の違いが見える。また、この航海では生物パラメータとして全菌数、ガス成分として全炭酸濃度についても計測済みであるが、どちらの成分も現状ではセンサ化が困難な項目である。

サンプルとなる海水を取得できると測定項目は飛躍的に増加する。表 1 に測定可能な項目とサンプル量を記した。たとえば 10ml のサンプル取得できた場合、マンガン・鉄といった熱水活動探査に従来から必須と言われていた項目の他に、全菌数、遺伝子解析といった生物パラメータ、pH、全炭酸、塩分、栄養塩 4 項目など生物活動に必須な成分の分析まで可

能である。フィルターを搭載し、懸濁物を集めることで浮遊鉱物種の同定にも使用可能である。これまでサンプリングは数が少ないと言ったデメリットがあったが、今回のサンプリングツール開発により、センサ並のサンプル数を確保することが可能となった。

表 1：船上分析でのサンプル必要量

1ml:	全菌数、全炭酸濃度、遺伝子解析、pH、マンガン、鉄
2ml:	塩分、栄養塩 4 項目、アルカリ度
10ml:	溶存酸素

b. 小型化学センサによる実証

東京大学生産技術研究所では、 μ TAS を用いた現場型マンガンセンサ IISA-Mn のスタンダードアロン化を進めている。従来はリアルタイム計測ができるため、船内でモニタリングしながら判断することが可能であったが、通信機能のないプラットフォームには搭載できないといった制限があった。基板を小型・集積化することで、従来の IISA-Mn の筐体の大ききで、バッテリーを搭載することが可能となり、全体としての小型化に成功している。ハイパードルフィン、しんかい 6500 (図 7) に搭載することで実海域試験にも取り組んでいる。海山の山頂から高温熱水が噴出しているサイトにおいて、ブルームの 3 次元マッピングを行い (図 10)、熱水拡散の様子をモニタリングするなど実証試験を実施中である。九州大学では pH, pCO₂, ORP などの複数センサを 1 台のロガーで制御するマルチセンサ化により、センサの小型化を行っている。しんかい 6500 (図 7) や小型 AUV ”REMUS100” に搭載することで実証試験を行っている (図 11)。

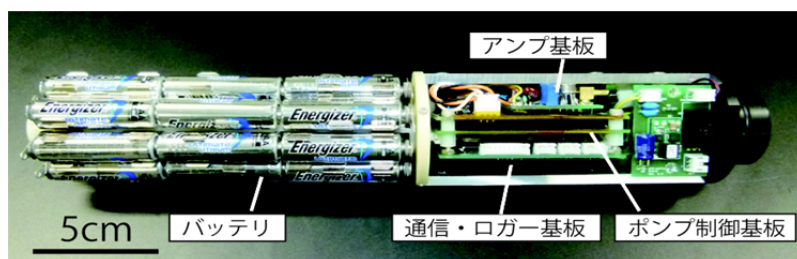


図 9：IISA-Mn の小型・集積化

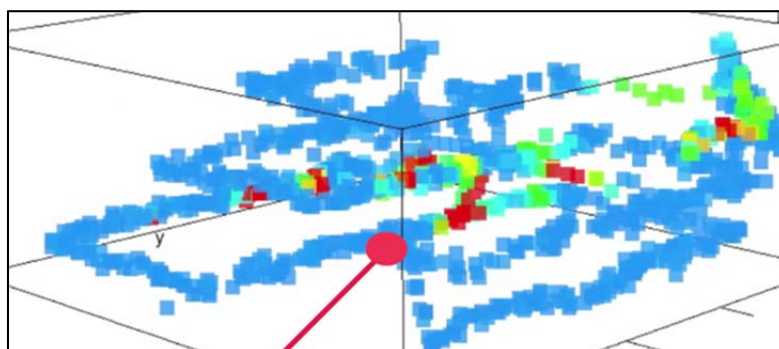


図 10：高温熱水噴出孔付近でのマンガン濃度分布(IISA-Mn)。赤丸が高温熱水噴出孔

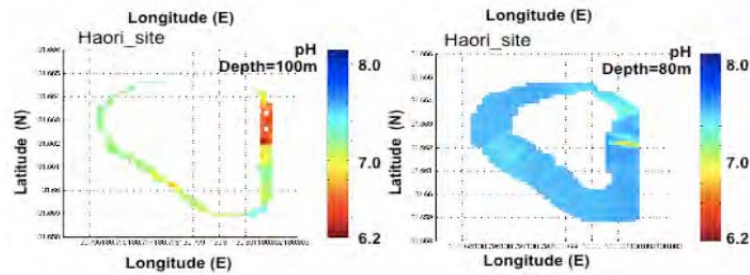


図 11：小型 AUV “REMUS100” による pH 水平分布観測

4. 今後の展開について

(1) 探査プラットフォームについて

新規熱水の探索は、1:広範囲の地形探査、2:熟練者による活動の可能性のある海山地形の判定、3:各海山における活動可能性の判定、4:各海山内での活動箇所特定の順に絞り込んでいく。化学・生物ツールは3と4のステップで有効であることは、2010年9月の与論海丘郡内での熱水活動発見で示した。このとき第3ステップとしては淡青丸 KT09-12 航海にて CTD ハイドロキャストを実施し本海丘群に活動の兆候があることを確認した上で、第4ステップとしてなつしま NT10-16 航海にて海底を精査し活動地帯を発見した。

図 12 のような広範囲の地図上で熱水活動の有無を判定するには（上述の第3ステップに相当）、3ノット程度の巡航速度を持ち、海底地形に沿って走ることができ、また pH, ORP など必要最低限の化学センサが搭載できる 2~4m級の AUV が有効である。また CTD ハイドロキャストや深海カメラ曳航は1ノット程度の速度しか出ないが、淡青丸などの観測船から実施できるため観測コストが低いこと、積載できるセンサ重量が大きく、センサ以外にもサンプリングツールを搭載することができる点（図 4）が有効である。上述の第4ステップに相当する観測では、ビデオ映像が撮影できる有線接続された曳航体ディープ・トゥや有人・無人潜水船が有効となってくる（図 6, 7）。また小回りのきく巡航速度 2~3 ノット程度の距離を稼ぐことができる AUV も有用であると考えられる。

化学・生物モニタリングツールの運用では、新しい AUV などプラットフォームが最新式のものに更新されることで便利になる点はあると考えられるが、既存のディープ・トゥ、深海曳航カメラ、CTD ハイドロキャストや公募利用できるハイパードルフィン、しんかい

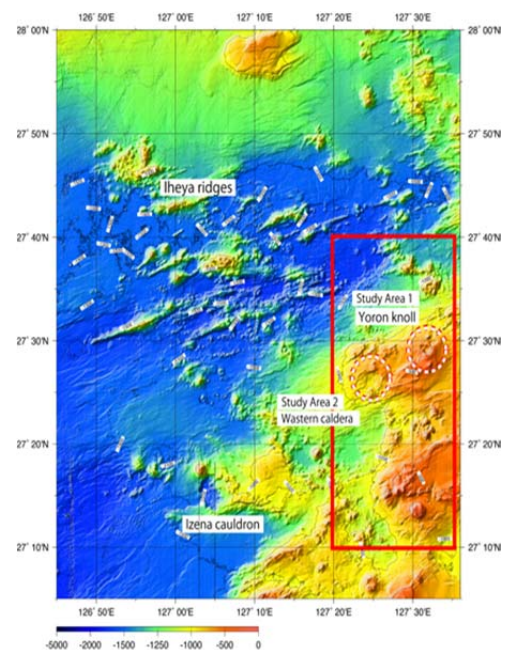


図 12：2010 年 9 月に報告者のグループが発見した熱水サイト

6500 などのプラットフォームでも探査の実証を進めることは可能である。

(2) 機器の汎用化について

高知大で開発運用中のセンサ・採水器について、乗船期間中の運用を、他の研究機関に委託して調査を実施した例を表 2 に示した。センサと採水器については、乗船前の事前校正、搭載中の校正溶液の提供、下船後の事後校正を開発者側で実施することで運用できるよう機器の調整を進めている。試薬を使うマンガン計については、操作に習熟した化学系博士研究員レベルならば運用できる状況である。ただし調整のノウハウや微量分析に関するテクニックの問題があるため、外部機関への完全業務委託には時間がかかると思われる。

μ TAS を用いたセンサやマルチセンサ類は、現状装置周りを小型化しているため、装置へのアクセスがしにくいなど取り扱いが煩雑になっているため、専門の化学系博士研究員レベルの技量が必要である。今後機器の開発が進むことで、取り扱い容易になっていくと推測される。

表 2：高知大開発センサで開発者以外が実地運用した（する）例

NT10-15（ハイパードルフィン）：硫化水素センサ、化学系の大学生が運用

NT12-13（8 月予定、ハイパードルフィン）：pH, ORP, H₂S, ANEMONE 採水器、
地球物理系の博士研究員が運用

YK12-（8 月予定：しんかい 6500）：ANEMONE 採水器、生物系教員が運用

(3) 活動段階に応じた探査手法

本受託事業では、当初化学センサの開発を実施してきた。活動初期・活動中期の熱水活動では様々な化学物質が豊富に放出されるため化学センサによる検出が容易である。また音響トモグラフィなどの物理探査も同じく有用と考えられるが、活動末期は放出される化学物質が乏しくなり、検出が徐々に困難となることが予測される。今回、プルームのサンプリングツールの運用が始まったことにより、微生物相（バイオマーカー）を測定することが可能となった。微生物相は活動末期の熱水活動の検出に有効であると予測されるため今後の展開として有効ではないかと考えている。

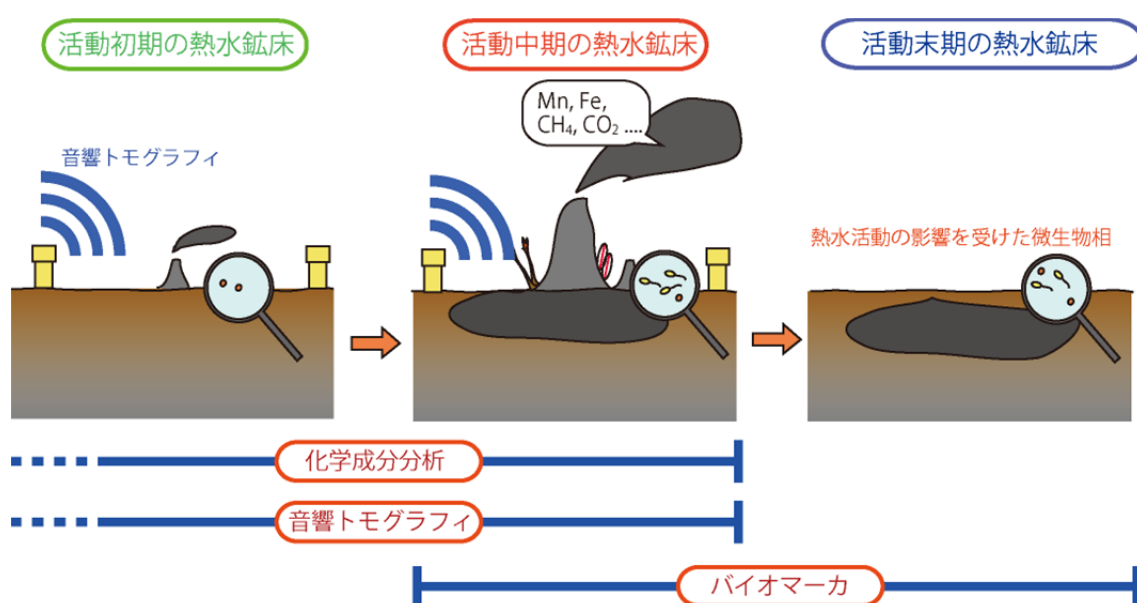


図 13：熱水活動の推移と検出に有効な観測方法

5. まとめ

本受託事業により化学・生物モニタリングツールとして、化学センサとサンプリングツールを試作した。高知大・岡山大による開発によって、化学センサの汎用化が進んだ。またサンプリングツールの開発に成功した。東大生研・電中研では μ TASやマルチセンサ化による超小型化を進めている。サンプリングツールとして試作したANEMONE-11は、サンプル数128個であり、3分間隔で約6時間、4分間隔で約8時間の採水が可能となり、センサに匹敵する密度での観測が可能となった。またサンプルを分析することで細菌数などの生物パラメータ、全炭酸濃度などガス成分といった従来センサで観測困難な項目が観測可能となった。当該ツールの運用試験によって2010年9月には新規熱水活動を発見するなど、実証試験を進めている。実際の運用に関しては使用プラットフォームの検討、目的とする熱水活動の活動時期の考慮が必要である。