

A suspended-particle rosette multi-sampler for discrete biogeochemical sampling in low-particle-density waters

J.A. Breier ^a, C.G. Rauch ^a, K. McCartney ^b, B.M. Toner ^c, S.C. Fakra ^d, S.N. White ^a, C.R. German ^a

^a Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543, USA

^b Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA

^c University of Minnesota - Twin Cities, St. Paul, MI 55108, USA

^d Lawrence Berkeley National Lab, Berkeley, CA 94720, USA

Keywords:

Deep-sea, Hydrothermal vents, Geochemistry, Suspended particles, Instrumentation, Remotely operated vehicle

要約

早期段階の熱水プルーム形成の仕方、非生物及び生物プルームのプロセスの詳細な検討を可能とする新しい海洋観測機器を開発しました。懸濁粒子ロゼットサンプリングシステムは立ち昇っている深海熱水プルーム部分から地球化学及び微生物サンプル採集できるように設計されました。吹き上がるプルームのサンプル収集するためにROVで展開でき、無浮力熱水プルームを空間的に不連続で船上からワイヤーで展開される採水ロゼットと共にあるいは時系列採集用に熱水噴出孔フィールド内で固定された係留などの使い方ができます。本システムは東太平洋海膨での初係留及び大西洋中央海嶺におけるROVによりサンプル採集に成功しております。現在、一展開当たり懸濁粒子を24個個々の大容量サンプル海水（サンプル毎に30~100リッター）を速やかに濾過する能力があります（例：1 μ m口径ポリカーボネイトフィルターを通して4から7リッター/分でサンプル毎に90リッター以上）。懸濁粒子ロゼットサンプラーは地殻運動や他のイベントに応じてサンプル採集に使用されることができ、海底観測所展開の長期目標を達成すべく設計されました。システムはレーザーラマン分光や可視反射分光などの現場型光学センサーに対応しており、粒子が変質または劣化する前にサンプル収集後、現場にて粒子分析ができます。

1. 序文

懸濁粒子物質は水圏の至る所に存在しております。そのもっとも広い定義の中で粒子は生存と非生存物質から構成され、粒子サイズ、混合物、濃縮のレンジに及びます。粒子物質の形態、輸送、分解そして埋没は生物地球化学的なサイクルの基本です(Anderson et al., 2003)。幼生、プランクトン、微生物、ウィルスの懸濁粒子の生物構成成分の分布と輸送は水界生態系を理解する上で等しく重要である。ニスキンボトル、現場型濾過器そして様々な特殊機器はほとんどの懸濁粒子採集のニーズにかなった機器であります。しかしながら、深海の熱水プルームにおいて我々は空間的、時間的に精密な採集が要求される環境下で新しい地球化学及び細菌研究に着手しています。この目的を成し遂げるために我々は係留して自動時系列サンプル収集もしくは熱水プルームの吹き上げに沿ってサンプル採集を可能とする無人潜水艇 (ROV) に搭載させるなど用途に合わせて展開できる最新のSUPR (Suspended Particulate Rosette) マルチサンプラーを開発いたしました。SUPRサンプラーは現在、一展開中に懸濁粒子を24個不連続に大容量 (25~47 mm直径フィルターを通して4から7リッター/分でサンプル当たり30から100リッター容量を濾過します) 濾過する能力を有しています。ROVバージョンの水中重量は7 Kg、占有する体積は0.1 m³ 以下です (図. 1) SUPRは現場で粒子分析を可能とするレーザーラマン分光システムのような現場型光学センサーの母器になるように設計されています。本論文ではSUPRサンプラーの科学的ニーズ、そのサンプラーの設計、2カ所における初めての現場における結果に関して論じています。

A: 2007年東太平洋海膨 (EPR) における係留

B: 2008年大西洋中央海嶺 (MAR) におけるROVで展開

2. 科学的背景

熱水プルームのプロセスは熱水噴出口から海洋へ濃化学フラックスに変わります。2つの一般的なプロセスは確認されています。プロセス1) 噴出孔の流動物が海水と混ざった時、直ちに多金属硫化物段階になる鉄の共沈殿と他の親銅元素 (換言すれば急冷効果)



図1. SUPRサンプラーはWHOIで設計・製作され、光学センサー互換、マルチサンプルフィルターヘッドがMcLane Research Laboratories社の高い流量レートで濾過するシステムにインターフェイスされています。ROV搭載に組込まれる際、SUPRシステム (a) はROV Jason(b)に科学機器ペイロードとしてどの場所でもフィットできるように十分小型です。

プロセスII) 噴出孔流体と混合してより酸化する周辺海水に変質し、新たに形成されたFeオキシ水酸化物段階で微量元素と共に共沈殿及び溶解した金属が吸着した状態 (Feely et al.,1987; Lilley et al.,1995; German and Von Dam, 2003)。プロセスIから大量のケミカルフラックス流出している間は金属を含む沈殿物として海底に堆積します。プロセスIIは水柱を通して数キロメートルに分散される低密集の綿状粒子の発生する結果になります。また、プロセスIIの間、海水中の栄養塩と微量元素(例えばP,As,Cr及びV)は高い反応性のある鉄及びマンガンリッチ粒子によって不要物が除去されます(Mottl and Mcconachy, 1990; Metz and Trefry, 2000)。地球の深海にある噴出孔のプルームを通過して海洋全体に1万年未満かかると推定されます(Feely et al., 1991; Kadko, 1993; Elderfield and Schultz, 1996)。これは地球地質学的な定義では変化が速い、従って熱水プルームの範囲内で発生するプロセスは地球全体の海水の化学現象に直接作用しているかもしれません(Kadko et al., 1995)。地球化学の変化に加え、鉄とマンガンの酸化反応は海底及び海底下の化学合成微生物コミュニティの重要なエネルギー源になると考えられます(Edwards et al., 2003; Bach et al., 2006)。微生物プロセスはまた酸化率と熱水プルーム粒子の最終的な存亡に影響する熱水プルームが重要になるかもしれない(e.g. Cowen and German, 2003)。熱水プルーム範囲内で可能な化学的なエネルギーの見積りは化学合成の代謝過程の変化がありうると示しめている(McCollom and Shock, 1997)。Deming and Baross (1993)は噴出孔を吹き上げる流体の中で高められた微粒子DNAと細胞濃度を報告した。いくつかの研究は酸化マグネシウムと酸化メタン及びバイオマス生産をベースとした中立的な浮揚性の熱水プルーム内で活動する微生物の証拠を示しています(Cowen et al., 1986; De Angelis et al., 1993; O'Brien et al., 1998; Dick et al., 2006)。そのような微生物コミュニティは日和見か固有であるか、また、彼らがどのようにその様な物理的にダイナミックな環境の中で生き残っている固有種であるかは不明です。熱水プルームプロセスの我々の理解の大半は噴出孔の穴近傍の試料流体そして中立浮力のプルームの粒子から取得された物と強調されるが一般的には海底から100~200m上部で採取された物です。技術的な挑戦のため、いくつかのサンプルがほとんどの粒子が初めは流出し、最も反応する熱水プルームの浮き上がる(上昇する)部分から採集されました。生物及び非生物プルームプロセスをより良く理解、発展するために我々は熱水プルームの立ち上りから横に広がる範囲内の別々の場所で粒子を体系的に採取することができる新しい機器を開発しました。

2. 1 採集ニーズ

立ち上る熱水プルームを体系的に採集するために、試料採集は適切な採集計画がシングルROV潜航中に実行できるように十分に迅速でなければなりません。試料は幅広いレンジの懸濁粒子濃度で収集されなければならない。：なぜなら熱水流体は噴出孔プルーム時間/混合海水がプルームの消散するレベルに達する、 10^4 の要因で希釈される(Lupton, 1995)。試料はまた様々な粒子サイズで収集されなければならない。プランクトンを除いて、最も大きな熱水粒子はマイクロンの10倍の大きさで、一方最小はナノスケールです(現在受け入れられているが、運用上の定義された限界は $0.2 \mu\text{m}$)。微生物分析のため、できる限り小さな $0.2 \mu\text{m}$ は意味があり、採集されなければなら

ない。地球化学的な分析には1 μ m以下の大きさの粒子を採集し、より大きい粒子は最も実質的な選択肢になります。なぜならそれは様々な分析に十分な材料になるからです。物証は熱水プルームのほとんどの粒子質量は大きな粒子（ベネット、タンパク効率、通信、公表されていないデータ）に関連しており、立ち上るプルームでこのより良い定量観測にはSUPRサンプラーには打ってつけの用途です。上記に記載したサンプリング要求に加えてサンプラーの設計は微量金属、微生物用静浄の実行及び標準使用に互換性が無ければなりません。サンプラーは最近発見されたLoihi海山の深海側面のUre Nui噴出孔フィールド5000m水深など深海熱水噴出孔として現在認識されている全てにアクセスできるように最低でも5500m耐圧であるべきである(Davis et al., 2007)。ROVで運用する際、サンプラーは小さくコンパクトでなければならない、そして最大12か月の間、総流量2400リッター濾過できるバッテリー容量を搭載させなければなりません。定量データ整理編集のため、各サンプル採集で濾過された流量を記録しなければならない。最後に我々の長期目標はレーザーラマンや可視反射分光などの光学技術を使用して現場での粒子分析であるから(Breier et al., 2009)、我々は光学的に互換性のある微粒子サンプラーを要求しています。

2. 1 現存する微粒子サンプラー

時の試練を経た微粒子マルチサンプラーは陸上で濾過する手法と一体化したニスキンかGO-FLOの採水器です。このタイプでの採集のいくつかの例を以下に表します。ファン・デ・フカ海嶺のエンデバーセグメント、Straube et al.(1990)ではアルビン潜水艇に搭載された1.5~5リッターのGO-FLOボトルを使用して立ち上る浮力性のあるプルームから25ボトル全ての採水器で収集されました。1990年ファン・デ・フカ海嶺の裂けた部分のアルビン潜水艇での潜水調査において、Cowen et al.(1990)はプルーム下部で1.7~10リッターのニスキンボトルを使用して全てのボトルで採水収集(1~10m噴出孔上部)しました。同様の採水研究調査がMARのTAG(Edmond et al.,1990; Rudnicki and Elderfield,1993)でも使用された。それらはまた、浮揚性プルームの上部は鉛直CTDロセット及び船舶のワイヤーで吊り下げられた独立型の濾過器によって採集された事例が既にあります(e.g., Bennett et al., 2008; Edmonds and German, 2004; G. Wheat and J. Resing, pers. comm.)がこの方法は海上と海中状態でより高い依存性があり、体系的でもなく、信頼性もありません。そのボトル研究調査には3つの主な欠点があります。i) サンプルの大きさがボトル容量で限界がある。ii) サンプル積載量は全ての採水収集により限界がある。iii) 試料水内の粒子がボトルの内部に付着することでバイアスがかかる可能性がある。Mitra et al. (1994)は採水ボトルから粒子を濾過する時に発生する可能性があるバイアスと記述しています。現場濾過によるサンプリングは全ボトル採水の欠点を補う良い解決法があります。しかしながら全ボトル採水には即座にサンプル採集ができる妥協点がある。それに反して現場濾過は同等の水量からサンプルを集めるためには数分時間が掛かります。そのプロセスの時間尺度に伴う科学的ニーズがサンプル採集するために採水か現場濾過アプローチのいずれがより適切であるか要求するでしょう。我々の用途において、現場濾過の長所は採集に時間が掛かる兼ね合いに勝ります。粒子と流体のマルチサンプリングするいくつかの現場濾過のアプローチは具体的な科学用途用に開発されてきました。我々はSUPRの設計過程で4つの現存するサンプラーを検討いたしました。: CPR (連続プランクトンレコーダー)、Butterfield et al. (2004) Hydrothermal Fluid and Partticate Sampler、McLane社WTS (Water Transfer System) シリーズのマルチサンプラー及びSholkovitz et al. (2001) ランブイ搭載型エアロゾルサンプラー。CPRは海洋表層のプランクトンを収集するための曳航される装置です(Hardy, 1939)。CPRはプロペラ装置によって連続的に装置にプランクトンをメッシュに巻き取りながら収集します。ポンプで吸い上げると同時に、個々のサンプルを適正にするCPRの設計は非常にコンパクトな装置ですが、サンプルを完全な状態を確保するためには相対的に複雑な設計が要求されます。さらに現場光学分析用サンプルを得る好機の際、収集後に即応するには限界がある。HFPS (Hydrothermal Fluid and Partticate Sampler) はROVで海底に拡散する熱水流体を制御されたサンプリングするためにButterfield et al. (2004)によって開発されました。HFPSは流体(濾過もしくは無濾過)、粒子、ガスタイトサンプルの組み合わせで採集する設定が可能です。入力口周辺や確実に熱水排出を拡散するところにインテイクチューブなど空間的に離れたところの水温を連続的に計測できます。それはMcLane社デュアルマルチポートバルブを使用して追加のサンプリング部品を通して水を引き込むことです。濾過されたサンプルは個々の47mm直径のフィルター上に収集されます。流体サンプルは800mlまでの限界があり、そして濾過完了までには10から20分掛かります(Huber et al., 2003)。HFPSのように、McLane社WTS

シリーズサンプラーは同様のデュアルマルチポートバルブを使用して個々に独立した一般的な4.7 mm直径フィルター（24個）を通して海水（10リッター未満/ポート）を引き込みます(e.g. Rendigs and Bothner, 2004)。この一般的な設計は熱水噴出孔で海底微粒子採集を含む、類似したサンプリングニーズで幅広い用途に適応されるでしょう (Taylor et al., 2006)。HFPSとMcLane社WTSシステムの両方は最小の採集時間が重要にならない相対的に小さな量のサンプル収集を目的としています。バルブヘッドの設計は流路直径に限度があるので、その結果がサンプリング流量レートの限度を導きます。加えて、フィルターホルダーは採集したサンプルに光学的にアクセスすることができませんので、ホルダーは光学装置へそれらに接点を作るために分離しています。フィルター機構を除いてはMcLaneコンポーネント（ステッパーモーター、制御装置、ポンプなど）はより少ない改造で我々の要求を満たすことが判明し、SUPRサンプラーの試作器で使用されています。主に我々のマルチサンプルフィルターリングヘッドの一般的な配置に基づくと主にWHOIブイ搭載型エアロゾルサンプラーは円状（フィルターロゼット）に配置されたフィルター上に24エアロゾルサンプルを採集します(Sholkovitz et al., 2001)。この設計で一つの場所はサンプル採集用になり、フィルターは必要に応じて場所を循環します。流路はフィルターを通過して直線になります。他の場所はエアロゾル(e.g., visible reflectance or XRF)の鉄の含有量を分析するセンサー用に使用可能になります。この配置は流路の横断面を最大化し、フィルターロゼットの循環パターンは分析システムと調和することを平易にします。エアロゾルシステムは濡れていないのでフィルターはシングル、共通の封入物及びサンプルの保全を確保します。無蓋上のサンプルが残留するこの配置は鉄センサー用に必要な光学アクセスを供給できます（また、同じ封入物）。しかしながら水中用途で、シングル、浸水、収納されたサンプルは再懸濁、お互いに汚染そしてサンプル保全を損ないます。しかしながら、各サンプルを個々に封入する事は光学アクセスをより困難にします。それら二つの設計要求満たすこと、サンプルの保全を確保する事とサンプルに光学的にアクセスできるようにする事、及びSUPRフィルターリングヘッドの設計の結果は次の項目で説明されています。更に上記で説明しました要求を満足することに関し、SUPRの設計は i) 連続的にまたは補足的な地球化学と微生物分析用の同時に微粒子サンプル複数組を収集する ii) 同時に粒子の大きさ別に分けて収集する多段階式濾過が可能かについても検討。

3. 懸濁粒子ロゼット (SUPR) サンプラー

3. 1 記述

SUPRサンプラーは24個別のサンプルを採集することができる一つのカスタム濾過ヘッドを搭載しています（図2、表1参照）。設計は機器回収の際、簡単な工程で多数のサンプルを回収する、多段階にでき、複製濾過そして現場光学分析と互換性があるなど新しい物です（特許出願中）。また、フィルターは流量検討する制限因子があるので、流路の直径を広げる必要がある。フィルターリングヘッドは耐圧容器とフィルターロゼットで構成されます（図3）。ROVによる展開用に延長ホースとPVCサンプリングワンドがROVマニピュレーターの位置決め用のインレットに接続されます。耐圧容器は2カ所のアウトレットがあります。サンプルが連続的に収集された時、一つのアウトレットが使用されるだけで、もう一方はふさがれます。厳密な同時複製サンプルが収集される時、二つの

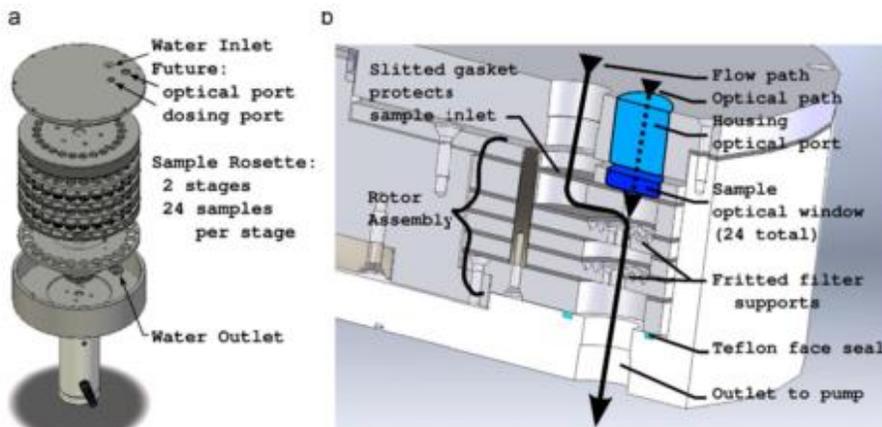


図2. a) SUPR サンプリングヘッドはフィルターロゼット及び24フィルターのサンプルの保管場所及びステッパーモーター駆動で構成されます。採水、廃水口及び将来搭載予定の光学センサーと少量の部品が据付けています。廃水口と有効なフィルター間の表面密封は流路を密封します。

b) SUPRサンプルヘッドの断面は濾過

されたサンプルへ光学的にアクセスできるように段壁流路になっています。現在の試作器はROV運用中ビデオリンク経由で収集状態を観察できる透明アクリルハウジングカバーと透明ポリカーボネイトロゼット上部プレートを使用。

アウトレットは共通の接合管で接続されます。試作品のハウジングはナイロン製、アクリル製カバー及びVitonゴム製ガスケットで作成されています。ハウジングは将来の微生物/地球化学の共同研究で要求される光学機器との接続ポートと汚れと試薬を導く投与ポートが計画されています。フィルターロゼットは区分けされた格納を作るシーケンスプレート及び各サンプル用の流路で構成されています(図3)。フィルターロゼット内の各24サンプルの位置の選定(廃水ポートを含む)のために、一つの入水口、簡単なクロージャ、ラテラルオフセット、2段階フィルターの積み重ね、及び廃水口があります(図2)。

Functional and physical	
Samples	up to 24
Sequential filtration	up to 2 levels
Filter pore size	0.2µm and greater
Filter diameter	25-47 mm
Depth rating	5000 m (autonomous)
	5500 m (ROV)
Weights (autonomous)	60 kg in water
	100 kg in air
Weights (ROV)	15 kg in water
	40 kg in air
Materials	
Sample rosette	Polypropylene, polycarbonate, nylon, viton rubber, titanium
Rosette housing	Nylon, Viton [®] rubber, teflon, nickel alloy (i.e. Hastelloy [®]), titanium
Pumping system	316 stainless steel, polycarbonate
Pressure housing	Aluminum
Mooring frame	316 stainless steel
ROV frame	Acetal copolymer
Electrical	
Disposable battery	30 Ahr alkaline pack
Rechargeable battery	10 Ahr NiMH pack
ROV power	36-38V, 1 A max.
Communication	RS-232
Controller	Onset Computer Corp. TattleTale 8



図3. a)ハウジング内に封入されるフィルターロゼットで構成されるSUPRサンプラーヘッド
b) フィルターロゼットそれ自身はフィルターを支え、流体流路及びサンプルチェンバで構成されます。 ; プレート間を密閉するガスケット, それらを一纏めにされ、チタニウム製ファスナー中央シャフトに接続されます。

各インレットでの閉鎖はViton[®]のメンブレンとスリットによりサンプルが的確を保持する為に簡単な逆止弁として動作するように作られています。入水口とフィルターサポートプレート間で固定された二つのプレートはマスクのような働きをするバフとガスケットの組み合わせになり、24個のサンプル格納庫とラテラルオフセットを作成します。ラテラルオフセットはフィルターロゼットの中心から固定された範囲にサンプルセット上へ光学ウィンドウに提供します(図2. b)。2フィルター段階は粒子の大きさによってサブサンプリングの選択肢を可能とし全体として積み重ねて収集できます。フィルターロゼットはポリプロピレンとViton[®]ガスケットとチタンシャフトと共にポリカーボネイト及び留め金具で作成されています。フィルターロゼット全体はハウジング内に固定され5 Teflon[®]フェイスシールで密封されます。それらのフェイスシール2つはまた2か所のハウジングアウトレットと有効なサンプル流路の間を密封するために役立ちます。密封する圧力はシングルチタンバネによって提供されます。密閉圧力はローターシャフトのシングルチタン製スプリングによって提供されます。サンプルを得るため、サンプル水はフィルターヘッドに対して下流側に位置するポンプによって連続的に各々の流路を通して吸引されます。フィルターヘッドはWater Transfer Systemコンポーネントにインターフェイスされます。25ポジション駆動装置(24サンプルポートと1専用洗浄ポート)機械式流量計、5000m(5500mROVバージョン)耐圧容器、マイクロ制御器(Onset Computer TT8[™])及びMcLane制御ソフトウェア適応からなります(Morrison et al., 2000)。ソフトウェアはフィルターがサンプルを収集するとポンプスピードを落とすアクティブフィードバックを使用しており、1分あたりのポンプ流量がユーザーの制御した閾値(予め設定された自動採集用の機能)以下に落ちた時サンプル収集を停止します。サンプラーをROVに搭載させて運用する場合、電源はROV経由で給電され(28~36V at 1A max)、シリアル通信(RS-232 Fig. 3.(a))でリアルタイムに制御されます。重量は15Kg水中、40Kg空中です。自動運用目的に設定された場合、SUPRサンプラーは交換できる10Ah NiMH再充電可能なバッテリー、あるいは30Ahアルカリバッテリーパックを使用し、係留用フレームと共に提供されます。重量は60Kg水中、100Kg空中です。

ROVによるサンプル採集時、個々のサンプル流量はROVのビデオカメラの一つで機械式流量計をモニターすることで正確に記録されます。係留系による自動採集時、校正された流量でデジタルポンプ積算回転計が個々のサンプル流量を推定するために現在、使用されています。研究室内ポンピングテストを基に現在の機械式流量計は精度と精密性の両方は10~100リッターレンジ内で実際の流量の10%以内です。デジタルポンプ積算回転計の精度は微粒子でフィルター上に厚く集められるまで同等であるが、そのポイントの後、デジタルポンプ積算回転計はそのフィルターを通過する流量を過小評価し始めます。従って、係留系による自動採水において、個々のデジタルポンプ積算回転計の総量は係留系回収時に機械式流量計で記録された総濾過流量と比較します。個々の総流量概算は比例関連の差異を分配することで調整されます。ポンプか

ら切り離されたデジタルポンプ積算回転計は自動採集のこの問題は解決されるでしょう。なぜなら現在、いくつかの方法をテストしています。しかしながら現在焦点を絞ることは機械式流量計で目的を果たせるROV用途です。

3. 2 将来の光学センサーの統合

SUPRサンプラーは将来、現場型光学分析器の受け皿になるように設計されています。ラテラルオフセットはサンプリングポートの指定された場所へサンプルが移動することによって同じサンプルへ当てはめるマルチサンプル採集技術を可能としサンプル収集後繰返し実行されます。蛍光染色法を使用して可視反射率分光や画像分析のような技術は可能であるが我々が焦点を当てたい熱水ミネラル分析ではレーザーラマン分光です(Brewer et al., 2004; White et al., 2005, 2006)。例として、それら目的を迫るため、我々は現場の熱水粒子混合物の各々のミネラルを鑑定し、それら混合物の相対的な鉱物学上の構成物の量を測る方法やラマンスペクトル特性のデータベースを開発しました(Breier et al., 2009)。

4. 方法

4. 1. サンプル収集

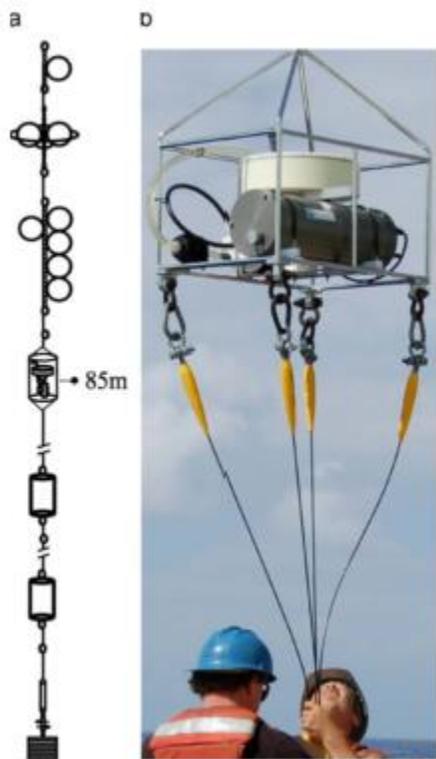


図4. (a) SUPRサンプラーは2007年11月東太平洋海膨91500NでTicaベント85m上部中立的な浮力の熱水ブルーム内で3日間係留され、初めてのフィールド試験が実行された。

(b) SUPRサンプラーを自動運用で使用する場合は30Ahアルカリか10Ah NiMHバッテリーパックのいずれかが電源になります。

SUPRサンプラーはROV展開時に立ち上る熱水ブルームから系統的にサンプル採集できるように設計されました。サンプラーはまた、中立浮力のブルームを横断して運用するCTD採水ロゼットと共にもしくは時系列採集用に固定係留のいずれかでも中立浮力ブルームサンプリングに使用できます。最大1年の時系列が可能で、ROV潜航中の立ち上るブルーム採集のために、ターゲットの噴出孔には標準のROVナビゲーション技術(ウルトラショートベースラインやロングベースラインなど)を使用して離れた場所から海底に沿ってアプローチします。ROVは立上る浮力のあるブルームの範囲内というよりはむしろ近接して水柱を通過して上昇する。サンプルはROVの前方固定された‘ワンド’インレットを使用して、海底から離れ高度を上げながらSUPRに浮力のあるブルームを吸い上げられます。我々の現在の実行する事は中立的な浮力のあるブルームを高度を上げながらターゲットとなる噴出孔より高い部分から連続的に反復した多数のサンプルを採集することです。最初の複製ペアは噴出孔直上で収取され、その後のサンプルは無浮力のブルームの最上部範囲に高度を上げながら間隔を開けられる。乱流による粒子収集の自然の変化は各SUPRのサンプル取得に要求される10~30分及び時間的な1次評価を可能とする反復サンプルの収集と同様にダイナミックな収集された粒子環境の範囲内での空間的な変化を通して軽減されます。将来的には海底近傍及びブルーム上部の微粒子サンプルのバックグラウンドは採集計画

に含まれ、サンプル採集は光散乱センサー、Eh、溶存酸素、温度、粒子蛍光光度計及び溶存鉄、溶存マンガンなどの現場型センサーのデータと統合されるでしょう。それらの計測はより良いサンプリングのガイドとなり、微生物コミュニティデータの解釈するためにブルーム環境の3次元地球化学に基づくマップを開発可能とするでしょう。この論文で明記された試験展開で収集されたサンプル用にポリカーボネイトメンブレン(GE Osmonics)とポリエーテルスルホンで織られた(SUPOR®)フィルターの両方が使用されました。SUPORフィルターは急速には目詰まりしない、より多い物質を濾過することができますが、その後の顕微鏡による分析用にフィルターから物質を剥がすことがより困難です。その点については滑らかなポリカーボネイトメンブレンは優っている。回収にあたり、サンプルロゼットは研究室に持ち込まれ、ポリエチレンシートで外気と埃から保護します。全てのサンプルは蒸留/脱イオン水で洗浄され、海水を取り除き、解析まで凍結されます。その後、取り扱われた全てのサン

ブルは窒素で洗浄されたグラブボックスに保管されます。微粒子サンプルは消毒されたフィルター、中性 pH 緩和された蒸留/脱イオン水で回収時に洗浄され、採水を取り除きます。サンプルは窒素洗浄された Ted Pella® コンテナ真空密閉され解析まで凍結保存されます。微生物分析用に保管された理化されたサンプルは標準実施要領に従い防腐処置、首尾一貫した保存で取り扱われます。

4. 2 サンプル分析

我々は i) シンクロトロンベースの X 線吸収スペクトル顕微鏡検査と ii) 伝統的な薄膜 XRD と元素分析を使用して無浮力の熱水プルーム粒子の微細スケール (mm 及び nm レンジ) の鉱物学及び生物地球化学的故雲合物に検討するため EPR サンプルを使用しています (Breier et al., 2008)。ここで紹介しています STXM (スキャン伝送 X 線顕微鏡) 測定はカリフォルニア州バークレイのローレンスバークレイ国立研究所のアドバンスドライトソーススペースライン 11.0.2. 施設で実行されました (Kilcoyne et al., 2003)。この顕微鏡は伝送画像を記録するためにサンプル上にモノクローム X 線ビームに焦点を合わせるフレンネル型プレートレンズを使用している。物質はポリカーボネイト製フィルターから再懸濁され、約 1 μ L のプルーム粒子懸濁液は分析用の窒化ケイ素ウィンド (Silicon Ltd.) 上に沈殿させました。X 線画像はシンチレータ光電子増倍管検出器アセンブリーを使用して取得されています。画像がエネルギー未満で記録され、そして Fe 2p と C 1s 吸収端が吸光度に変換され、元素マップを引き出すことに使用されます (吸光度は $\ln(I_0/I)$ に等しい、 I_0 は入射 X 線強度、 I はサンプルを通して送信強度)。全ての測定は外気温と 1 atm He 以下で実行されました。ビームラインの理論上の空間的及びスペクトル分解能はそれぞれ 40nm, ± 0.1 eV であった。709.5eV で参照鉱物のフェリハイドライトの主な Fe 2p_{3/2} 共振は Fe 2p エッジで相対的なエネルギー校正に使用されます。そのエネルギーは CO₂ 気体 292.74 と 294.96eV の 3p リュドベリ変遷を使用して C 1s で校正されました。全ての STXM データ処理は IDL (ITT Visual information Solutions) ソフトウェアパッケージ aXis2000 を使用して実行されました。

5. 1 番目のフィールド展開：東太平洋海膨、中立的浮力熱水プルーム

SUPR サンプラーは 2007 年 11 月 9 日 1500N EPR E Tica 噴出孔上部の無浮力熱水プルームの中 3 日間係留展開された L. Mullineaux によって導かれた LADDER 2007 クルーズでフィールド試験は成功しました (図. 4)。SUPR サンプラーは 37 mm 直径、1 μ m 孔径ポリカーボネイト (GE Osmonics) フィルターと 24 サンプル採集する様にプログラムされました。サンプラーは無浮力プルームの最上部の位置である海底から 8.5 m 上部に幼生サンプリングを意図して係留系を設置しました。係留系はロングベースラインナビゲーションとアルビン潜水艇のトランスポンダネットワークを使用して目的の場所上部にトランスポンダと切離装置と共にその上部表面より低く設置されました。係留系はアルビン潜水艇で正確に位置する様に設置されました。サンプラーはサンプル採集に完全に成功し、サンプルあたり最大 97 リッター濾過しました (図 5. 表 2)。72 時間の展開中、サンプラーは 2007 年 11 月 23 日 6 時に 1 番目の採集が開始し 2007 年 11 月 26 日 6 時に最後の採集を実行する様に 24 サンプルを均等に分配されるように時系列で採集するようにプログラムされました。サンプラーはまた、立案された適応性のあるサンプリングルーティーン i) 各サンプリング期間の最大サンプル濾過量を設定できますがフィルターが破裂する前にサンプリングを停止します。フィルター破裂しなかったがサンプル濾過量には大きな変化があった (表 2)。この変わりやすさは少なくとも部分的に粒子濃度の空間的な変化によるであります。粒子の大きさ分類もしくは粒子特質の変化は役割を果たすかもしれない、なぜなら最も濃く採集されたサンプルは最も高い濾過量を示しているからです (図. 5)。しかしながら、その変化はまた、制御器の感度による部分かもしれない (比例計数、組み込み、微分フィードバックアルゴリズム)。それらの天然サンプルから粒子サイズの分布と濃度の測定はより正確に制御アルゴリズムを調整に使用できる試液の開発に寄与するでしょう。我々はそれらサンプルの particle-by-particle、シンクロトロンベースの X 線吸収スペクトル分光詳細構造分析が完了しました。それらの測定は元素構成、鉱物学、主な化学物質の種形成 (例えば Fe、C) 及びプルーム粒子中の微量元素に関する必須情報をもたらします。それらの結果はプルーム粒子の大部分は拡散する C リッチマトリックスの集団化した鉄関連のナノ粒子で構成されます (図. 6)。これは Tica 噴出孔 EPR においてセジメントトラップで収集された沈降するプルーム粒子の最近の調査結果を支援しています (Toner et al., 2009)。我々はまた、最近開発した現場型レーザーラマン分光法技術の限界の更なる試験でそれらサンプルを使用しました (Breier et al.,

2009)。それらサンプルは現在、伝統的な薄膜XRDで元素分析中です。

6. 初めてのROV展開：大西洋中央海嶺、立ち昇る熱水プルーム

次に述べる91500N EPRでの係留展開の成功に伴い、SUPR試作器はROVに搭載させて使用するために改造・最適化されました。SUPRサンプラーのROVバージョンの水中重量は7 KgでROVのスイングアームあるいは後部ペイロードベイの位置に十分収まるようにコンパクトになっています。SUPRサンプラーはA. Reysenbachによって導かれた2008年7月の航海におけるMARの部分的なROVジェーソンの繰返し潜航において成功裡に展開されました。サンプル採集は1) 超苦鉄質主体のレインボウベントサイト (3611130N, 331540W) 及び玄武岩主体のラッキーストライクベントサイト(371170N,321160W)で実行されました。全ての採集はある潜航時に機械式ステッパードライブのロールピンが壊れ、そのピンがすぐに交換された後の潜航で繰返し採集できましたのでその事象を除いては成功しました。F10 (レインボウ) でのサンプル採集は451角度で立ち昇るプルームで引き起こされた海底強流により技術的に最も困難な事象であった。この困難にもかかわらず、Jason潜水艇は海底から20 m上の高度 (1, 1, 2, 5, 10及び20m) で6組複製のサンプルを採集するために立ち上る水柱を通過して側面位置に固定することができた (図.7)。プルームから立ち昇る粒子リッチは全ての高度でJasonのビデオ画像から直接視覚的に認識できました。3組サンプル複製はレインボウのX3ベントの開口部の上部1 mで採集されました。同じような採集がラッキーストライクベント上でも実施されました。複製サンプルは2608ベントの開口部の上部1、1、2、5、10、20mで採集され、3組の複製サンプルがマーカー4ベントの開口部の上部1 mで採集されました。全ての潜航でSUPRサンプラーは47 mm直径のSUPORポリエーテルスルホンメンブレン、連続的な繰返しで収集された0.8と0.2 μ m口径フィルターの相互シーケンスを搭載しています。ベント最も近いところで採集された0.8mmフィルター上のサンプルは粒子が大量に収集されました。；サンプル濾過量は典型的な5リッターを限度とされています。0.8 μ mフィルターサンプル濾過量は時間によってのみ制限されました。0.2 μ mフィルターは300と500 mlの間の濾過後すぐに詰まりました。0.8 μ mフィルターはEPR粒子として同じ地球化学分析に耐えるでしょう。0.2 μ mフィルターは将来の微生物研究用に記録されました。

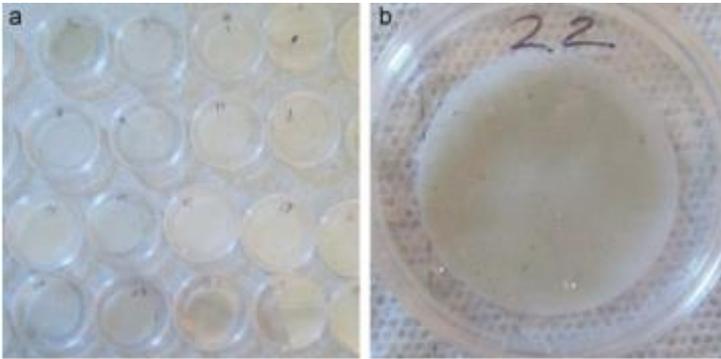


図5.

- (a)EPR係留展開中にサンプラーは時系列で24サンプル採集することに成功しました。
- (b)最大流量は97L濾過されました (その際は37 mm直径、1 mmポリカーボネイトフィルターが使用されました)。また、その時に大量の粒子が収集されました。

7. 将来の方向性

さて、基本的なサンプラーの設計及びROVでの採集計画は両方ともに海上試験で首尾よく完了でき、我々は立ち昇る熱水プルーム研究に専念する新しいキャンペーンを計画しています。地球化学と微生物サンプルの包括的な一組を得るために、我々は二つの方法でシステムのサンプリング容量を増やすことを計画しています。初めは第二のSUPRサンプリングヘッドを追加することで48フィルター (47mm直径のフィルターの24複製組) が1展開当たり採集させることができます。また、これは運用多重度のレベルを高めます。

第二は濾過量を増やし、0.2 μ mレベルでより大量にサンプルを収集するために、我々はROVのマニピュレータで作動させるマニュアルバルブを使用してSUPR濾過システム交互に接続できる16の補助的な142mm直径フィルターホルダーのラックを追加する事です。加えて、多くの粒子特質として特徴は生存期間が短いので、SUPRサンプラーはレーザーラマン分光法などの現場型光技術と互換性があるように設計されています。OOI (Ocean Observation Initiative) プロジェクトの基金は将来の海洋学の指針は観測用のセンサー、センサーネット

104°17.5'W, 9°50.4'N (25 m NNW of Tica Vent) 85 m above bottom (2540 m)			
Collection time	Filters (pore size)		Volume (L)
	1 μm	0.2 μm	
Start	23 Nov 07		
0600	x		4.6
0907	x		90.1
1215	x	x	0.2
1523	x		23.9
1831	x		42.9
2139	x		18.7
0046	x		4.6
0354	x		2.2
0702	x		7.2
1010	x		2.3
1318	x		22.8
1625	x	x	0.2
1933	x		63.9
2241	x		55.6
0149	x		3.3
0457	x		2.8
0805	x		0.6
1112	x		3.4
1420	x		3.8
1728	x	x	0.2
2036	x		55.0
2344	x		97.0
0251	x		44.1
0600	x		11.7
End	26 Nov 07		

ワークの開発にあることは明らかな証拠がある。SUPRサンプラーは懸濁粒子の組成上の変化を追跡するための現場型光学センサーの母器用の試作器です。それは時折起こる（例えば、地殻変動、火山）事象に応じて長期的な傾向や変化をとらえモニターするための海洋観測網の一部として展開させることができます。我々は具体的に言うと大陸棚上の物理学と生物地球化学的なプロセスの研究AUV潜水艇用の微粒子と採水の両方に対応できる現状のシステムをより包括的なバージョンに開発するために活動しています。我々は熱水システムに加え、ダイナミックな生物地球化学的な環境の範囲から微生物を含む懸濁粒子のサンプリングを空間的・時間的な分解を可能とするサンプリング能力を持ったこの種の要求が増大すると考えます。

表2. 91500N東太平洋海膨で中立的なブルームで採集されたサンプルの時系列データ

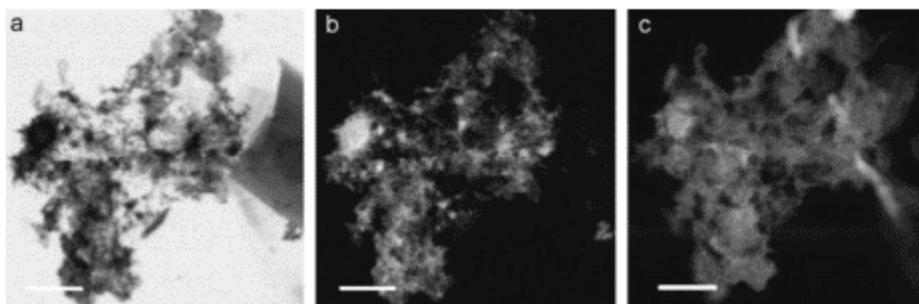


図6. 走査透過型X線顕微鏡 (STXM) 画像とFe-C結合体を示すEPR Ticaベント無浮力ブルーム群集の元素マップ
a) Fe L3-edge(709.5eV)で収集されたSTXM画像、b) 鉄分布マップ、c) カーボン分布マップ、スケールバーは2 mm、鉄とカーボンマップは光学密度単位でそれぞれ0から1.66及び0からは1.74の値です。

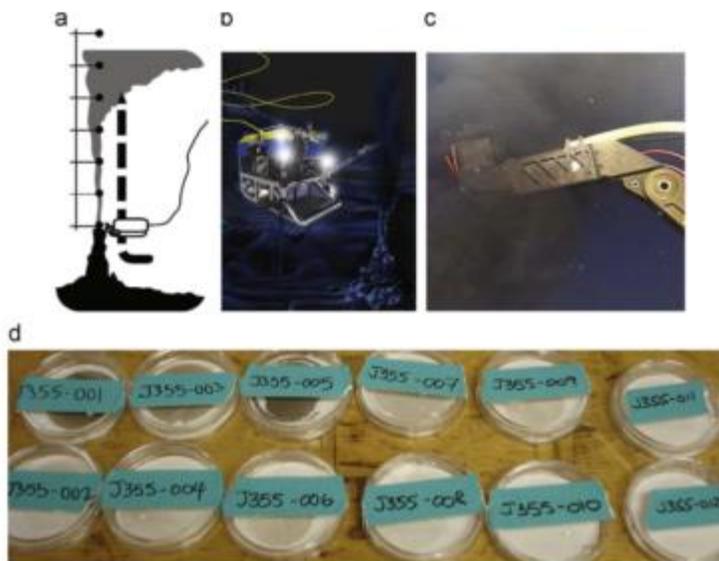


図7. a)SUPRサンプラーは大西洋中央海嶺のベントフィールドで立ち昇るブルームの採集計画で提供された2008年7月のROV Jasonの潜航で首尾よく試験されました。b) 立ち昇る熱水ブルームは高度を上げながら体系的に採集する、(a) 立ち昇る浮力のあるブルームの範囲内というよりもむしろ近接して水柱を通じて高度を上げる(b)Oberlanderによるイラスト参照及び(c)ROVの前方に固定されたワンドと呼ばれるインレットを使用することで採集。(d) 0.8 μm (上段)と0.2 μm (下段)対になったサンプルのセットは左から右にブルーム高度が上昇するレインボウのF10ベントから噴出するブルームで採集されました。(1, 1, 2, 5, 10, 20m)。

翻訳者：スリーエスオーシャンネットワーク株式会社 勝呂一彦

翻訳内容に関しまして、疑義が生じた場合以下のサイトで英文論文をご確認ください。

<https://mclanelabs.com/wts-lv-large-volume-pump/wts-lv-papersmedia/>