

# 平成 20 年度 ITP 派遣事業 アメリカ合衆国・ニューハンプシャー州 立大学再生資源センター (Recycled Materials Resource Center) で の研究活動について

派遣報告者 : 高橋 史武

九州大学大学院工学研究院 環境都市部門 助教

平成 20 年度 ITP 派遣事業のもと, アメリカ合衆国のニューハンプシャー州立大学へ赴き、約 2 ヶ月間の研究活動を行ってきました。ここでは、派遣先の生活環境や研究活動、派遣終了後の計画についてご報告します。

## 1. ニューハンプシャー州立大学を取り巻く生活環境について

ニューハンプシャー州立大学はその名の通りニューハンプシャー州の州立大学です。ニューハンプシャー州はアメリカ東海岸にあり、ボストンがあるマサチューセッツ州の北に位置します。ニューハンプシャー州にある都市で一番日本人に馴染みがあるのはやはり日露戦争の講和交渉を行ったポーツマスでしょう。ニューハンプシャー州立大学はポーツマスから車で約 20 分ほど離れたデュアラム (Duhram) という小さな町に位置しています。

- ① 日本からデュアラムに向かうには、まず飛行機でボストンに立ち寄ります。日本からボストンへの直行便はありませんので、シカゴやデトロイト、ニューヨーク経由となります。ボストンのリーガン国際空港からサウスステーションまで地下鉄ないしはタクシーで移動し、サウスステーションから列車 (Amtrack) で直接デュアラムまで赴けます。ボストンから高速バスでポーツマスまで向かい、ポーツマスから車でデュアラムまで移動する手段もあります。
- ② デュアラムに最も近い大都市はボストンで、総領事館もあります。各種トラブルがあった場合には、ここで対応可能です。
- ③ デュアラムは江戸時代初期 (1600 年代後半) に拓かれており、歴史ある町です。周囲は森と湖に囲まれており、ポーツマスへ向かう道は美しい紅葉と湖が広がる景色を楽しむことができます。ホテルの中庭では野生の鹿を見ました。
- ④ デュアラムは大学以外にはスーパーマーケットが 1 軒、レストランが 5~6 軒ある程度でのとても小さな町です。小さくとも完結した町ですので、車が無くとも基本的な日常生活を送ることが出来ます。ただし郊外のホームセンターなどへ買い物に行きたい場合は、やはり車が必須でしょう。大学キャンパス傍に 1 軒レンタカー業者があり、そこで車を借りることが出来ます。

- ⑤ ニューハンプシャー州立大学に入学した学生は基本的に大学内の寄宿舎に入ります。デュアラムにはあまり娯楽がないので、学生はボストンまで遊びに行っているようです。大学内にビジター用の宿泊施設がありますが、周囲にも幾つかホテルがあります。
- ⑥ 食生活ですが、キャンパス内で幾つかのレストランと、各種屋台が出ており、昼食はそこで済ますことが多くなります。キャンパス隣のスーパーマーケット横に中華レストランがあり、そこで中華料理を楽しむことも出来ます。ハンバーガーとピザ、タコス、中華料理でローテーションを組みます。ポーツマスまで出れば、日本料理店で和食を楽しむことも出来ます。
- ⑦ カナダ国境に近いこともあり、気候は冷涼です。10月後半になると毎朝霜が降りるぐらい気温が下がります。

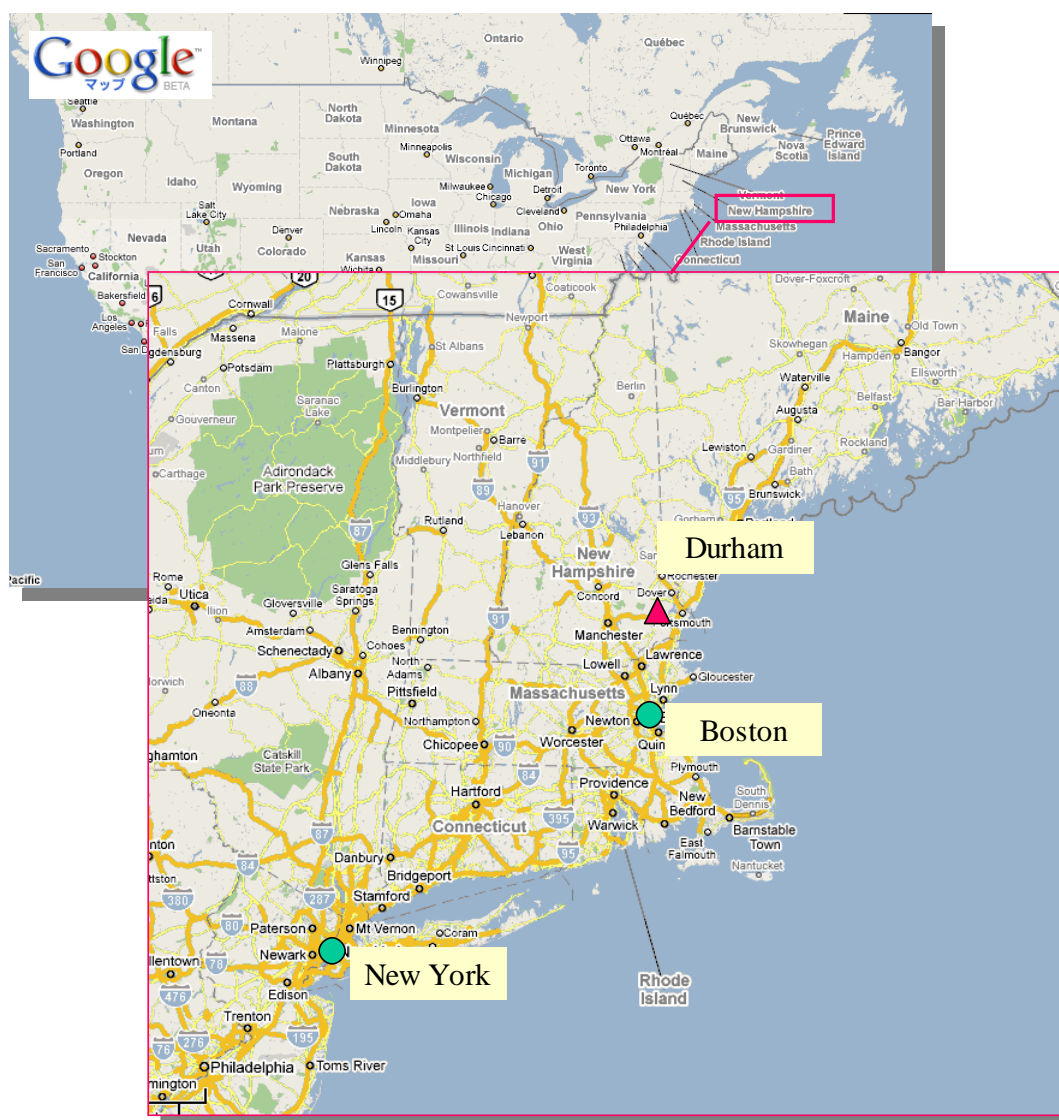


図 1-1 デュアラムの位置



図 1-2 デュアラムの町

## 2. ニューハンプシャー州立大学の教員および関係者

環境制御工学研究室（島岡研究室）では平成 13 年度より島岡隆行教授が中心となってニューハンプシャー州立大学 Recycled Materials Resource Center (T. Eighmy 教授、現ニューハンプシャー州立大学副学長) と共同研究を行ってきました。日本人学生の派遣やニューハンプシャー州立大学からの学生受け入れなど、相互交流も活発です。ここではお世話になったニューハンプシャー州立大学の教官 3 名と事務員 1 名をご紹介します。

### ・ Kevin Gardner 准教授（専門：環境工学）

現在、Recycled Materials Resource Center のセンター長を兼任されています。T. Eighmy 教授とともに島岡隆行教授と共同研究を行ってきました。九州大学派遣者の研究活動が円滑むよう、学術面や生活面を含めて調整して頂きました。派遣期間中は特に研究活動面での多くのことに対応して頂き、大変お世話になりました。

### ・ Jeffery Melton 助教（専門：環境工学）

派遣期間の前半はアイルランドに長期出張中のため、アメリカ帰国後からお世話になりました。居室は Recycled Materials Resource Center のある Gregg ホールではな

く、Kingsberry ホールにあります。研究に使用する実験器具のマネージメントを行って頂き、実験方法についても多くのアドバイスを頂きました。

・ Scott Greenwood 技官

研究活動、特に実験を行うに当たって最も直接的にお世話になりました。試薬、廃液の管理や実験室全般のマネージメントをされています。ご自身の研究のためマイアミなどへ長期出張に出向かれることも多く、Scott さんのいる時期を見計らって実験準備をすることが肝要です。

・ Maddy Wedwinsky 事務員

Recycled Materials Resource Center の事務業務に携わっておられます。派遣先のホテルや大学での籍(派遣教員)の手配、生活面での相談などに乗っていただきました。何か困ったことが生じた場合には、始めに相談に赴く方です。

### 3. 出国前の研究計画の策定

出国前にある程度研究計画を固めておく必要があります。実際には派遣先に行ってみないとわからないことも多いため、詳細な研究計画までは必要ありません。派遣前にどのような研究計画を立てていたかご紹介致します。

- (1) ニューハンプシャー州立大学の Kevin Gardner 准教授、島岡隆行教授(九州大学)と派遣先で実施する研究課題について検討致しました。
- (2) Recycled Materials Resource Center では廃棄物のリサイクルおよびその環境影響について研究を精力的に行っていることから、研究内容も同方向のものにしました。ただし日本独自な点も出すため、一般廃棄物溶融スラグをリサイクル対象とし、アスファルト用細骨材としての利用とその環境影響としました。Recycled Materials Resource Center では高速道路に再生資源を使用した場合の環境影響評価を行ったことがあり、この点で共同研究の利点も見出せました。
- (3) 以上の成果を2ヶ月間でまとめ、国際ジャーナルへの投稿を狙うこととしました。
- (4) 派遣期間中に福井新平君(九州大学修士課程)も新たに派遣されることから、彼の共同研究についても協力することとしました。彼のテーマは「焼却残渣主体の埋立地における二酸化炭素吸収能の評価」でしたので、埋立地管理者との打合せなども先行して行うこととしました。
- (5) 九州大学とニューハンプシャー州立大学で多部局間学術交流協定が締結されること

となっておりますので、事務手続き面で派遣先での日本側窓口となることも重要な任務の一つとなりました。

#### 4. ニューハンプシャー州立大学での研究活動

##### 4.1 溶融スラグのアスファルト用細骨材利用とその環境影響

###### 4.1.1 研究の背景と目的

欧米では廃棄物の溶融処理はその端緒についたばかりであるが、日本では急速に溶融処理が普及しつつある。溶融スラグの約 60%程度がリサイクルされているが、残りは埋立処分されており、その利用促進が求められている。アスファルト細骨材としての利用が有望視されているが、利用時での気圏、水圏、土圏への環境リスクが不明であり、リサイクルを進める上でその評価は急務である。本研究ではアスファルト細骨材として溶融スラグを利用した場合での、磨耗粉じんによる環境・健康リスクを評価することを目標に置く。具体的には、磨耗粉じんが天然骨材と比べて優先的に磨耗し、磨耗ダストが微小径になるほど（つまり吸引リスクが大きくなるほど）、スラグ由来物が多くなり、その吸引リスクが大きくなるか評価することが目的である。

###### 4.1.2 研究方法

3種類の異なる水砕スラグを細骨材として用い、磨耗試験に供するアスファルト合材を作成した。堅さを一定とするために事前に粒度調整を施している。溶融スラグは骨材のうち粗砂分に相当する分を代替させたため、30%の代替率である。-10°Cの条件下でラベリング試験による磨耗実験を行い、発生する粉塵を全量採取した。磨耗粉塵の粒度分布を測定し、粉塵中のスラグ由来物の割合を2種類の方法で推定した。一つはX線回折におけるquartzのピークに着目した手法であり、もう一つの方法は、天然骨材とスラグの重金属含有量の差を利用するものである。

###### 4.1.3 結果および考察

スラグが天然骨材と比べて優先的に微粒化するとした予想したが、結果は大きく異なった。X線回折におけるquartzピークで推定した磨耗粉じん中のスラグ由来物割合は、粒径が150 $\mu$ m以下では30%以下であった。150 $\mu$ m~1.0mmの粒径では逆に、スラグ由来物割合が30%を超えていた。重金属含有量をもとに推定したスラグ由来物割合でも同一の結果が得られた。両手法(quartzピークによる推定法と重金属含有量による推定法)での推定値を比較すると良い一致を得ている。スラグC合材でやや推定誤差が大きいのが、これはFeやPb、Znの含有量から求めた結果が他の結果と大きく異なっていたためである。FeやPb、

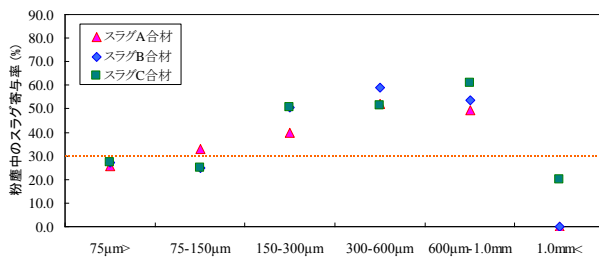


図 4-1 粒径別磨耗粉じん中のスラグ由来物割合

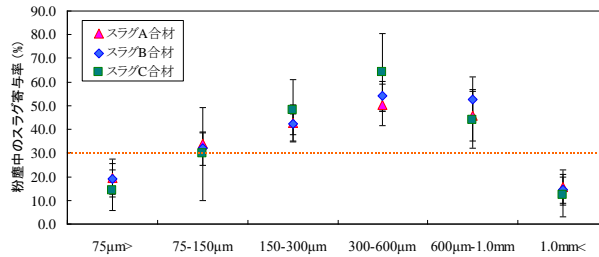


図 4-2 粒径別磨耗粉じん中のスラグ由来物割合  
(重金属含有量による推定値)

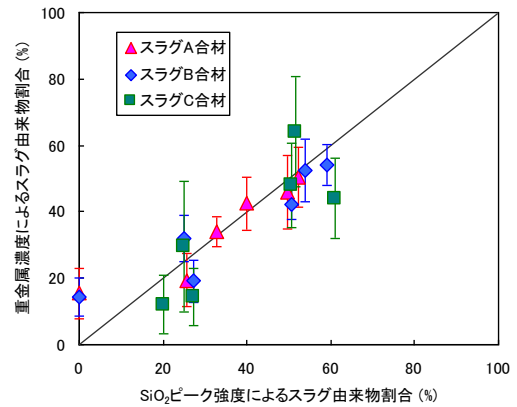


図 4-3 2 種類の方法で推定したスラグ由来物割合の比較

Zn については磨耗実験におけるサブスタンスバランスが他の元素と比較して悪く、含有量分析における前処理(酸分解)の不具合により分析精度が低下したことが示唆された。両手法による推定値が良い一致を得ていることから、推定した粒径別の磨耗粉じん中のスラグ由来物割合は高い信頼性を有していると考えられる。吸引リスクが最も高くなる  $75\mu\text{m}$  以下の磨耗粉じんにおいて、スラグ由来物割合は元のスラグアスファルト中のスラグ配合率よりも小さい。よってスラグアスファルトからの磨耗粉じんによる吸引リスクや環境リスクを評価する上で、磨耗粉じん中のスラグ由来物はもとのアスファルトのスラグ配合率と同一としても、リスクを過小評価することはないことが本研究の結果より判明した。

## 4.2 一般廃棄物焼却残渣の炭酸含有量測定法の評価

### 4.2.1 研究の背景と目的

近年、地球温暖化現象が強く問題視されつつあることから、二酸化炭素の排出削減および吸収・固定に関する研究が世界的に幅広く進められている。一般廃棄物焼却残渣は大気中ないしは水中の炭酸イオンと反応(炭酸化)して、炭酸化鉱物を生成することがここ 15 年程度の研究から明らかになってきている。炭酸化反応とはすなわち、焼却残渣による二酸化炭素の吸収・固定反応に他ならない。つまり、焼却残渣は二酸化炭素の吸収・固定材としての潜在性を有しているものの、この点に着目して焼却残渣の二酸化炭素吸収・固定能を評価した研究は少ない。焼却残渣の二酸化炭素吸収・固定能を評価する上で最も重要な点の一つが、焼却残渣中の炭酸含有量である。炭酸化反応に関する先行研究では熱示差分析計(TGA)を用いて炭酸含有量を分析しているケースが多い。ただし焼却残渣は極めて不均一かつ多種多様な鉱物の集合体であるため、TGA の結果から炭酸含有量を正確に読み取る

ことは非常に難しい。極めて基礎的な問題ではあるが、現在までこれを検討した報告は見受けられない。そこで、アメリカでの埋立地現地調査も兼ねて、本研究では焼却残渣を現地で採取し、その炭酸含有量を水酸化バリウム吸収法と TGA 法で分析することで、両者の評価を行うこととした。将来研究としての「焼却残渣による二酸化炭素の吸収・固定能評価」の土台となる基礎的検討である。

#### 4.2.2 現地調査

アメリカ・ニューハンプシャー州の F 埋立地にて焼却残渣をサンプリングした。埋立られた焼却残渣は埋立終了後 13 年程度経過しており、その自硬性から極めて硬く固結していた。異なる 2 地点(地点 A および B)において埋立表面(0.5m)～深度 4.5m までを 1m 間隔でサンプリングした。また、埋立直前の焼却残渣についても採取した。



図 4-4 F 埋立地でのサンプリング

#### 4.2.3 炭酸含有量測定

採取した焼却残渣の炭酸含有量は水酸化バリウム吸収法と TGA 法で測定した。105°C で 24 時間乾燥させ、105 μm 以下に微粉碎した試料を分析に供した。

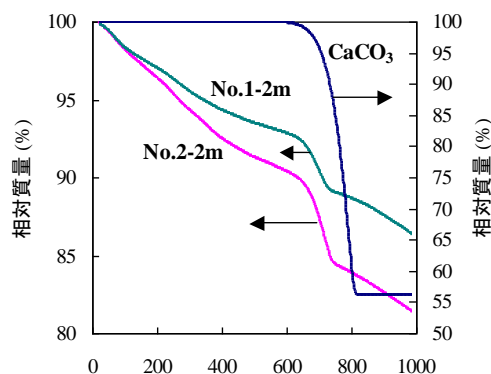


図 4-5 焼却残渣および CaCO<sub>3</sub> の TGA 分析結果

#### 4.2.4 結果と考察

右図に TGA 法での測定結果を示す。焼却残渣は極めて不均一かつ多種多様な鉱物の集合体であるため、所定の温度域で脱水反応や脱炭酸反応が生じない。脱水反応や脱炭酸反応は広範な温度域で生じ、両反応が同時に生じている温度域もあることが推察される。よって、どの温度域で脱炭酸反応が生じたと見なすかによって、炭酸含有量の推定値が大きく異なってくる。水酸化バリウム吸収法と TGA 法で得られた結果を比較したものを右図に示す。地点 A で採取した焼却残渣については、両者の結果が極めて良く一致した。埋立直前および地点 B でのサンプルにつ

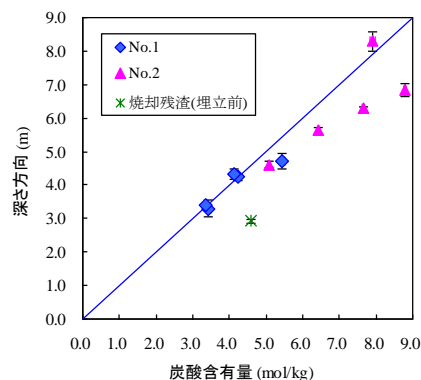


図 4-6 水酸化バリウム吸収法および TGA 法での分析結果の比較

いては両者の結果が大きく乖離していた。この場合は、TGA 法が水酸化バリウム吸収法よりも大きな数値を出す傾向にあった。この原因については現在も考察中である。試料を日本に持ち帰っており、今後の研究に供する予定である。TGA を用いて炭酸含有量を測定する場合、少なくとも数点、水酸化バリウム吸収法との結果と比較してその信頼性を評価することが必要である。

## 5. 研究成果の発表と今後の予定

様々な面で日本と異なり、研究計画通りに遂行することは極めて難しかったのが現実です。ただし、当初見込んでいた研究成果を上げることが出来、実験やディスカッションなどを通して派遣先の人々と研究交流できたことは大きな収穫でした。研究成果の発表予定と今後の計画は以下の通りとなっております。

- (1) 溶融スラグをアスファルト用細骨材として使用した場合の環境影響について成果をとりまとめ、2008 年 12 月 1～2 日に福岡で開催された国際シンポジウム (6th International Symposium on Earth Science and Technology) で発表致しました。
- (2) 発表内容から更にデータ解析を進め、国際ジャーナルへの投稿を予定しております。
- (3) 一般廃棄物焼却残渣の炭酸化含有量測定法の評価研究で得られた成果については、他の焼却残渣試料も用いてより詳細に検討を進め、成果をまとめた上で国際ジャーナルへ投稿することを予定しております。

## 6. ITP による派遣を終えて

研究および日常生活のすべてを英語でまかなう経験は初めてのことであり、困難もあったものの概ね良好に進めることが出来ました。特に派遣先にて同年代の研究者とつながりを作ることが出来たことは大きな収穫です。久しぶりに 1 日中自身の研究に集中できる環境に身を置く事が出来、研究者としての姿勢や心情を思い出すことが出来ました。この機会を与えて頂いた佐々木久郎教授や島岡隆行教授などの九州大学関係者各位、および日本学術振興会に対してここに深く感謝申し上げます。また派遣先の関係各位に対しても様々なサポート頂いたことに対し、お礼申し上げます。次年度以降に ITP で派遣される若手研究者の方々も、私が得られた素晴らしい経験を同様に得られるよう心より祈念致します。