

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

州立大学資源リサイクルセンターでの研究活動について

派遣報告者 : 福井 晋平

九州大学大学院 工学府 都市環境システム工学専攻 修士1年 (派遣時)

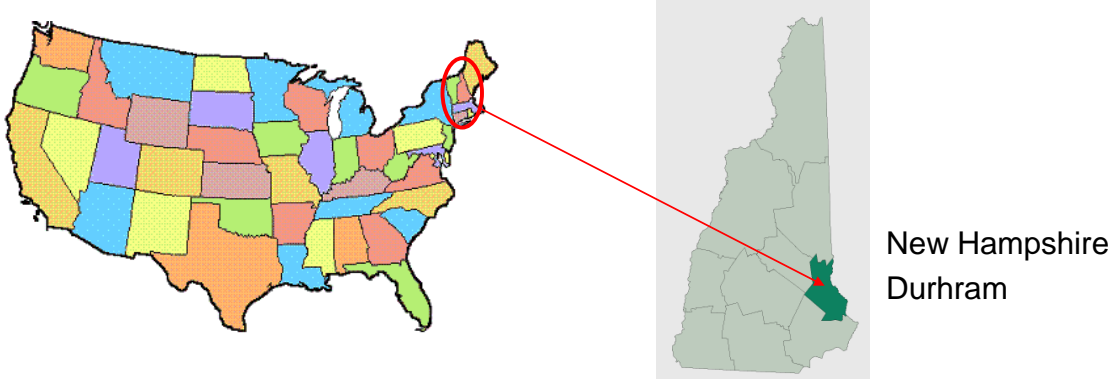
平成20年度ITP派遣事業に基づいて、アメリカ合衆国のニューハンプシャー州立大学で2ヶ月間の研究活動を行ってきました。ここでは、派遣先の生活環境、お世話になった教員の紹介、実際に現地で行った活動と、研究内容について報告いたします。

1. ニューハンプシャー州立大学の生活環境について

ニューハンプシャー州立大学はアメリカ合衆国北東部のニューイングランド地方にあるニューハンプシャー州のダーハム (Durham) という町にあります。以下に、大学周辺の生活環境について記載いたします。

- ① ダーハムはニューハンプシャー州の南東部に位置する町で、ボストンから北に約 100 kmの位置にあり、ダーハムまでの交通手段としては近郊の最大都市であるボストンのローガン国際空港から、バス、電車共に約 1 時間半の距離に位置しています。
- ② ダーハムという町は人口 1,300 人の小さな町であり、大学町として発達しています。そのため、人口の大半は学生であり 18-24 歳の人口が全体の 5 割以上をしめております。町は、自然がたくさん溢れる美しい町となっております。
- ③ 大学の目の前を走るメインストリートには、ボストンへと繋がる鉄道の駅、スーパーマーケット、レストラン、ドラッグストア、郵便局、銀行などがそろっており、生活必需品はすべてここで揃えることができます。
- ④ 大学周辺および大学内にはバスが走っており、バスでのキャンパス内の移動は学生であれば、無料で行うことができます。また、近郊都市であるポーツマスへ行くバスも走っており、30 分程でショッピングモールなどへ行くことが可能です。
- ⑤ 気候は、私が訪れた 9 月下旬の日中は夏の陽気を感じられ半袖でも過ごせますが、それ以外の時間帯は肌寒く、防寒着はかかせません。11 月頃になると、霜が降りる日もあり、かなり厚着をしなくては過ごすことが出来ませんでした。

ニューハンプシャー州の位置



大学周辺の風景



2. お世話になったニューハンプシャー州立大学教員と関係者

今回のニューハンプシャー州立大学での派遣にあたりお世話になった先生と関係者の方々を紹介させていただきます。

・ Kevin Gardner 教授

今回訪れた,資源リサイクルセンターの責任者であり,今回の派遣期間中の研究において,アドバイスをいただいたり,実験の支援をしていただいたりと色々面倒をみていただきました。

・ Scott Greenwood (Research scientist)

実際に大学内で実験を行うときに,実験室の利用方法,実験器具の準備などを行う際に多くの支援をしていただきました。

・ Maddy Wasieswski (Administrative Assistant)

大学や住まいの手続きをはじめ,生活で困っていることなどの相談や援助をしていただきました。

3. ニューハンプシャー州立大学での活動概要

3-1 秋の環境セミナー

滞在期間中に資源循環センターで開催されていたセミナーに参加しておりました。セミナーは一週間に一回もしくは二週間に一回のペースで昼食の時間帯に昼食を食べながら、約一時間程度、学外から訪れる方がそれぞれの研究内容を紹介するという形で行われました。内容は環境という大きな括りで行われ、過酸化水素/UV 処理法による水処理に関することや、自動車交通の際に発生する SO_x , NO_x の量を調査、コンクリート中の水銀の溶出に関する研究など多岐にわたるものでした。自身の研究とは直接関係するものではありませんでしたが、セミナーに参加することによりアメリカでのセミナーの雰囲気を感じることが出来て非常に良い経験となりました。

3-2 研究内容

滞在期間中に行った研究は、ニューハンプシャー州内にある焼却残渣主体の廃棄物埋立地を訪れ試料採取を行い、その試料を大学に持ち帰り分析するというのが大きな流れでした。以下に研究の概要を記します。

3-2-1 研究目的

廃棄物に関する地球温暖化研究では、生ごみ埋立地からの温室効果ガス（二酸化炭素、メタン）の排出現象に着目され、その排出量を推定する研究が主でありました。一方で、廃棄物の焼却残渣の再資源化を目指した研究分野では、焼却残渣が二酸化炭素を吸収して鉱物的変化が生じることが研究から明らかになっていることや、日本や米国の一部の州では焼却残渣の埋立が主体である（2005 年度実績で日本における最終処分された廃棄物に占める焼却残渣は 62%である）ことから、埋め立てられた焼却残渣は炭酸化され、大気中の二酸化炭素を吸収すると考えられます。しかし、埋立地内への二酸化炭素吸収は進行がゆるやかであるため埋立地による二酸化炭素吸収は今まで着目されずにいました。

本研究では埋立焼却残渣における二酸化炭素吸収に着目しました。そこで、二酸化炭素吸収量を定量・評価することを目的とし、埋立焼却残渣の炭酸化要因の検討として性状の把握および、焼却残渣の最大二酸化炭素吸収量の検討を行いました。

3-2-2 試料採取

試料採取は、ニューハンプシャー州の焼却残渣主体の廃棄物埋立地で行いました。この埋立地の特徴としては、民間会社のごみの焼却施設と最終処分場を運営しており、焼却残渣のみが埋立処分されている事や、降雨による焼却残渣中の可溶成分や重金属などの過剰溶出を抑制するために埋立後の焼却残渣層にはプラスチックシートが被せられるといった処置が行われております。また、ごみの焼却処理を行っている主な理由として、ごみを燃やしたときに発生した熱を利用しての発電であることが解りました。日本で焼却処理が行われている理由が、最終処分地の不足を補うためのごみの減量・減容化が主な目的であることから、日本とアメリカでは着眼点が違うということが感じ取られました。

実際の試料採取は、埋立焼却残渣の二酸化炭素吸収量を知ることが目的であったために、ある程度年月の経過している焼却残渣層を選ぶ必要がありました。そこで、1995年、1997年に埋立てられた層を選びました。また、各層の深さ方向での二酸化炭素吸収量の差を検討するために焼却残渣層の表層 0.5 m から、1 m 刻みで 4.5 m まで試料採取を実施いたしました。また、埋立焼却残渣と比較するために試料採取にいった当日に埋立地に運び込まれた焼却残渣についても試料採取を実施いたしました。よって、合計で 11 の試料を採取いたしました。下の表 1 が試料一覧となります。

表 1 採取した試料一覧

Sample name	Depth (m)	Information
FBA		試料採取日に排出
FL95-0.5m	0.5	1995年 埋立処分
FL95-1.5m	1.5	
FL95-2.5m	2.5	
FL95-3.5m	3.5	
FL95-4.5m	4.5	
FL97-0.5m	0.5	1997年 埋立処分
FL97-1.5m	1.5	
FL97-2.5m	2.5	
FL97-3.5m	3.5	
FL97-4.5m	4.5	

埋立地の風景



試料採取の様子

① 長さを測る



② 表面を掘削し新しい層を出す



③ 試料を採取する



3-2-3 分析および実験項目

分析を大学の実験室で行うにあたり,Laboratory Safety Quiz の実施が義務付けられていました。この,Quiz の内容は,実験室にある危険な薬品とその特性,保管方法,扱い方に関することや,薬品をこぼした際の掃除の仕方などを問う内容となっていました。Quiz 受験後に,以下の分析および実験を行いました。

(1) 埋立焼却残渣の初期性状の把握

埋立焼却残渣の初期性状を把握するためにすべての試料に関して以下の分析を行いました。

- ・ 含水率測定
- ・ 含有量測定
- ・ 環境省告示 46 号溶出試験 (JLT 46)
- ・ 炭酸含有量測定
- ・ 比表面積測定

焼却残渣中の炭酸含有量測定は,本研究で最も注目している点であったため,その測定方法は二通り行い,それらの測定方法の比較検討をしました。

一つ目は熱重量分析装置 (TGA) を用いた測定方法で,標準試料 CaCO_3 の重量損失が生じる温度領域を二酸化炭素の損失領域としてと,各試料のこの温度領域で損失した質量を求めてやりそれを焼却残渣中の炭酸含有量としました。

二つ目は水酸化バリウム吸収法を用いました。試料に所定量の硫酸を加えて試料中の二酸化炭素をガスとして発生させ,発生した二酸化炭素ガスは水酸化バリウム水溶液に通して水酸化バリウムに二酸化炭素を吸収させました。その後,二酸化炭素を吸収させた水酸化バリウム溶液を硫酸で中和滴定を行い二酸化炭素量を定量的に求めました。この際も,標準試料として CaCO_3 を用いて事前に検量線の作成を実施いたしました。

実験室の風景



水酸化バリウム吸収法 実験装置



(2) 焼却残渣の最大二酸化炭素吸収量の把握

本研究のもう一つの重要検討事項として焼却残渣の最大二酸化炭素吸収量の把握が挙げられます。これは、焼却残渣が実際にどれぐらいまで二酸化炭素を吸収することが出来るのかという知見を得る意味で重要でした。

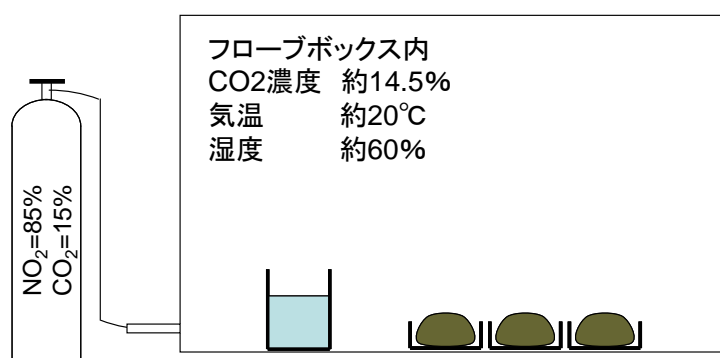
これを求めるために、各試料に関して炭酸化試験を行い、その後各試料の炭酸含有量を測定するといった手順を取りました。炭酸含有量の測定方法は、(1)で行った水酸化バリウム吸収法を用いて行いました。ここでは、炭酸化試験の方法を以下に述べます。

・炭酸化試験

炭酸化試験とは、試料に二酸化炭素を人為的に加えて炭酸化（二酸化炭素吸収）現象を促進させるために行うものです。今回は、試料である焼却残渣が炭酸化を起こしやすい条件を作り出したかったので以下の方法で行いました。

グローブボックスを準備し、グローブボックス内に CO_2 濃度 15% の N_2 との混合ガスを流し込んでやり、試験中は内部を常に CO_2 濃度を 15% 程度に保ちました。その後、粉砕した各試料を含水率 10% に調整してグローブボックス内に設置し炭酸化試験を実施しました。

炭酸化試験 試験装置



4. 研究結果報告

(1) 埋立焼却残渣の初期性状の把握

埋立焼却残渣の初期性状の把握から、以下の内容が明らかとなりました。

- ・ 表 2 の含有量測定の結果より、埋立焼却残渣の主成分は、Si, Fe, Ca, Al でありましたが、採取地点によって含有成分の割合にばらつきがあることが確認されました。また、過剰溶出を防ぐために、ビニールシートが埋立地全体に覆われていたが、可溶成分である Na, K, Cl などは埋立てられていなかった新鮮な焼却残渣よりも埋立焼却残渣の方がすべての試料において小さな値を示していたことから、埋立地において溶出が進んでいることが確認されました。
- ・ 図 1 に示している埋立焼却残渣の水酸化バリウム吸収法を用いて測定した炭酸含有量は埋立地において、埋立地表層ほど大きな値を示し、埋立地表層付近ほど炭酸化現象が進行していることが確認されました。このことから、大気中の二酸化炭素は埋立地表層で消費されてしまうことが示唆されました。TGA による炭酸含有量測定においても同様の傾向が得られました。
- ・ 図 2 に示すように TGA を用いた炭酸含有量測定方法と、水酸化バリウム吸収法を用いた炭酸含有量測定方法を比較検討したところ、TGA の方が水酸化バリウム吸収法の値よりも大きな値をとっていることが確認されました。この傾向は炭酸含有量の値が大きくなるほど、顕著となりました。これは TGA による炭酸含有量を測定する際に重要となる温度領域の決定方法が曖昧であるためと考えられます。よって、水酸化バリウム吸収法による測定方法の方がより正確であると考えられました。
- ・ 図 3 に示すように埋立焼却残渣の炭酸含有量と比表面積の関係を調べたところ、比表面積が大きいほど炭酸含有量が大きいう傾向が得られました。これは、比表面積が大きいほど二酸化炭素と焼却残渣の反応する面積が増えるためだと考えられました。

表 1 各試料の主要含有量

元素	FBA	FL95-0.5~4.5m			FL97-0.5~4.5m		
	含有量 (g/kg-ash)	平均含有量 (g/kg-ash)	標準偏差 (g/kg-ash)	変動係数 (-)	平均含有量 (g/kg-ash)	標準偏差 (g/kg-ash)	変動係数 (-)
Si	190	120	28	0.23	92.6	15	0.16
Ca	120	150	36	0.24	179	39	0.22
Fe	83	170	63	0.37	155	36.9	0.24
Al	68	71	12	0.17	71	15.2	0.21
Na	26	9.2	3.3	0.36	7.72	1.98	0.26
K	11	5.1	1.9	0.37	5.12	1.15	0.22
Cl	13	2.4	1.0	0.42	2.53	2.2	0.87
LOI	65	96	14	0.14	114	31	0.27

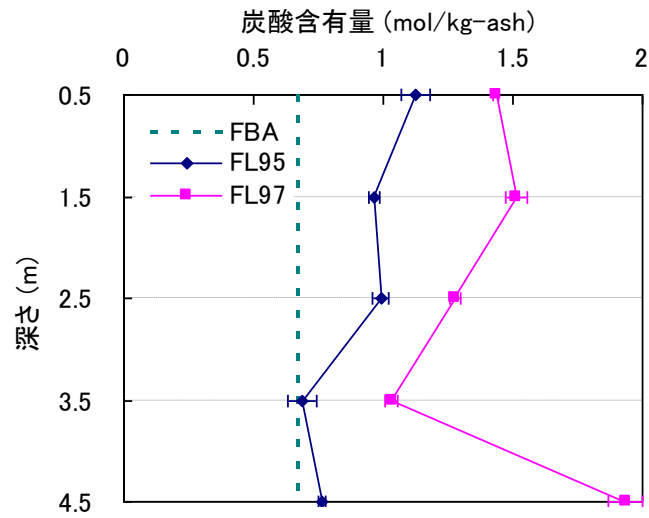


図1 各試料の炭酸含有量

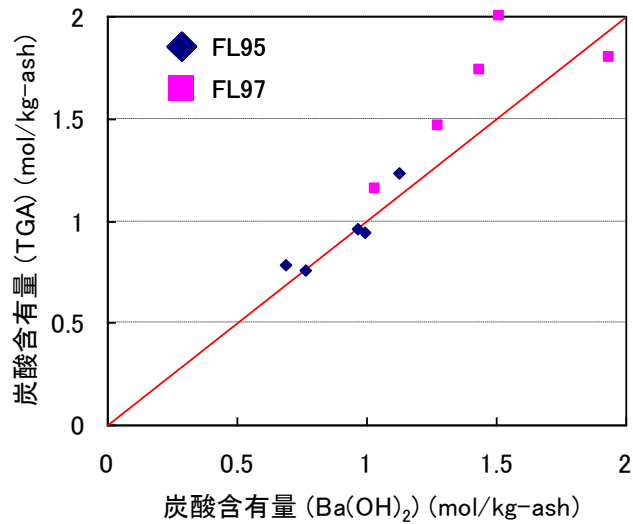


図2 TGA法と水酸化バリウム吸収法による炭酸含有量測定と比較検討

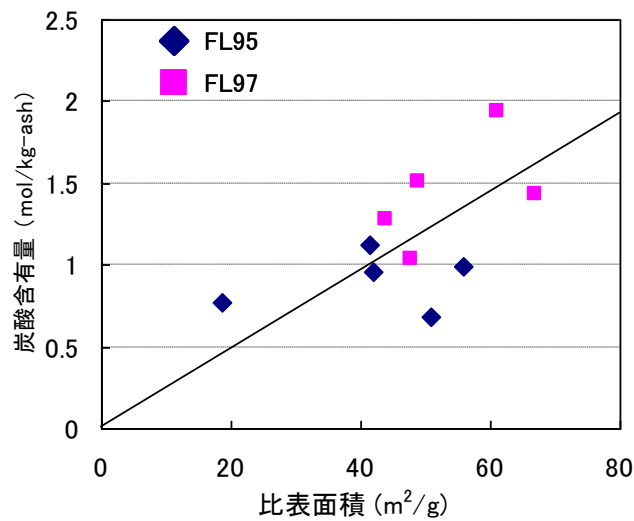


図3 炭酸含有量と比表面積の関係

(2) 焼却残渣の最大二酸化炭素吸収量の把握

炭酸化試験の結果から以下の知見が得られました。

- ・ 図4より埋立てる前の新鮮な焼却残渣 FBA の二酸化炭素吸収の経時変化を調べたところ、炭酸含有量は、最初の24時間で大きく増加し、その後緩やかな増加を示し3日目から7日目の期間では、増加は見られなくなりました。このことから、7日の時点で焼却残渣は最大二酸化炭素吸収量に達したと判断しました。
- ・ 各試料の飽和炭酸含有量の結果は図5のようになり、焼却残渣の飽和炭酸含有量は1.25~2.60 mol/kg-ash となり、試料間でばらつきを持つ結果となりました。
- ・ 飽和炭酸含有量のばらつきが生じた要因について検討するために、飽和炭酸含有量と焼却残渣中の主要成分である Ca, についてみると、図6より Ca 含有量と飽和炭酸含有量の間には正の相関が見られました。このことから、飽和炭酸含有量は Ca 含有量に依存することがわかりました。また、この図の近似直線式より飽和炭酸含有量は Ca 含有量の mol 比で約4割程度の値を持つことが推定された。
- ・ 平均飽和炭酸含有量を求め、それを FBA の炭酸化試験前の炭酸含有量で引くことで、焼却残渣の平均輪偉大二酸化炭素吸収量を算出したところその値は、1.09 mol/kg-ash となりました。この値は、焼却残渣 1 t 当たり最大で 50 kg の二酸化炭素を吸収することが出来ることが示唆されました。

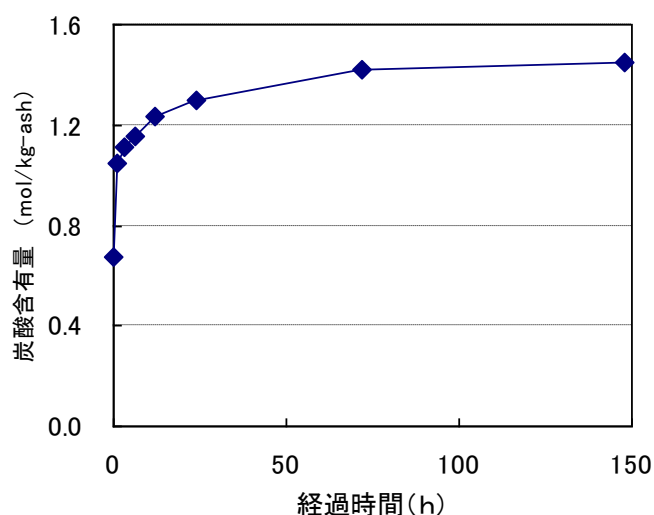


図4 試料FBAの炭酸化試験による炭酸含有量の経時変化

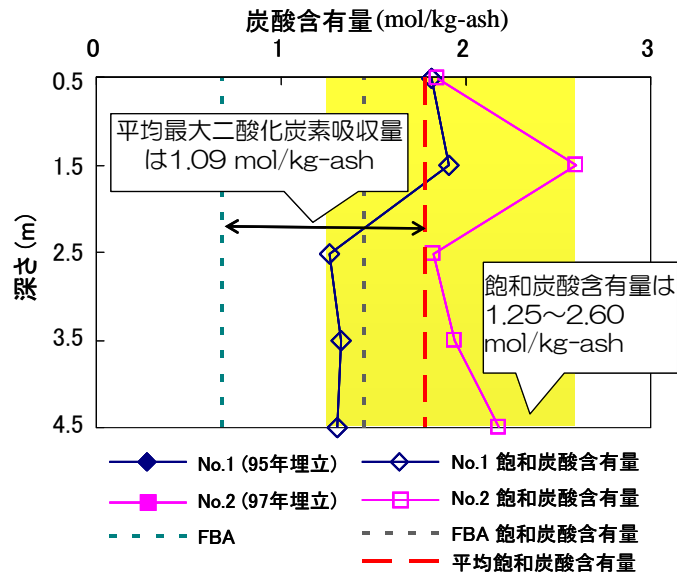


図 5 炭酸化試験後の飽和炭酸含有量と平均最大二酸化炭素吸収量

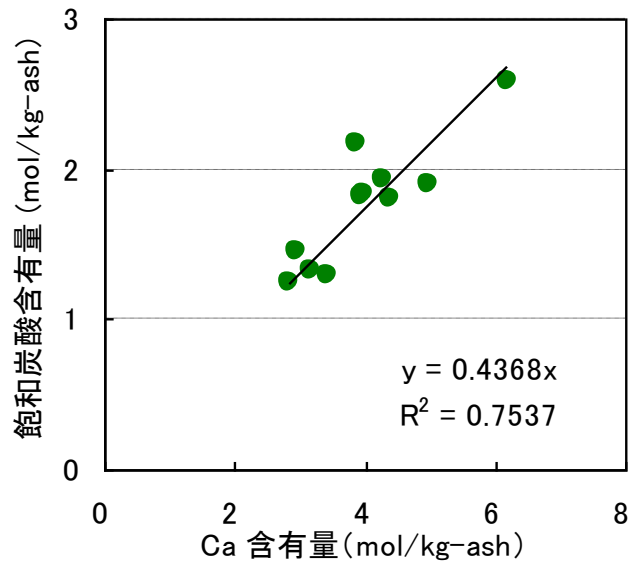


図 6 飽和炭酸含有量と Ca 含有量の関係

謝辞

このたびは、2 ヶ月間アメリカ合衆国のニューハンプシャー州立大学で研究する機会を与えていただき JSPS、並びに、九州大学の ITP 関係者の皆様に、深く感謝申し上げます。

海外での研究生活を通して、コミュニケーション能力、環境への適応能力の重要性を身を持って認識いたしましたし、まだまだ勉強していかなければいけないと感じました。今後はこの経験を糧に、さらに人として成長していきたいと考えております。

ありがとうございました。