

ORNL 滞在記

船舶技術研究所

小田野 直光

e-mail: odano@srilot.go.jp

1. はじめに

1997年1月から1998年1月までのちょうど1年間、米国 Oak Ridge National Laboratory (ORNL) の Computational Physics and Engineering Division (CPED), Nuclear Analysis and Shielding (NAS) Section の客員研究員として、仕事をする機会に恵まれました。本稿では、ORNL での仕事の内容や印象について紹介させていただきます。

2. ORNL について

ORNL は 1942 年に第二次世界大戦中のマンハッタン計画のために設立されましたが、現在では、原子力分野のみならず、基礎科学分野でも先端的な成果をあげる総合研究所として生まれ変わっています。職員約 5000 人、年間予算は 700 億円で、現在は Lockheed Martine Energy Research 社が研究所の運営を行っています。研究所はテネシー州の東部のオークリッジ市にあり、ノックスビルの西約 32 キロの所に位置しています。

オークリッジは第 2 次世界大戦中のマンハッタン計画のために作られた秘密都市で、現在でもその歴史をうかがい知ることのできる施設が存在しています。オークリッジには東西約 20 km、南北約 10 km の DOE が管理している土地があり、そこに ORNL、East Tennessee Technology Park (ETTP: 旧 K-25 プラント)、Y-12 プラントがあります。K-25 プラント、Y-12 プラントはマンハッタン計画において、それぞれ ^{235}U の濃縮のために作られたプラントです。K-25 プラントはガス拡散方式による濃縮法を採用しており、広島に投下された原爆に使われたウランは K-25 で濃縮されたものだそうです。K-25 プラントはすでに閉鎖され、新たに ETTP として生まれ変わり、産業界で従来の施設を利用できるような環境作りを行っています。一方、Y-12 は、現在、解体核兵器からの核物質の管理等を行っているほか、技術の民間移転のためのセンターとしての役割を担っています。ORNL 滞在中に、旧 K-25 プラントと Y-12 の public tour に参加しました。旧 K-25 にはウラン濃縮に使用した巨大なガス拡散プラント (U字型で全長約 2000m、約 400,000 m² のコンクリートの一枚天井) が現存していました。Y-12 では、技術の民間移転センターが入っている建物だけを見ることができました。いずれの見学でも、セキュリティ上の問題から、見学者はバスから降りることは許されず、すべてバスの窓越しの見学となりました。

この public tour は American Museum of Science and Energy が主催しているもので、week day に tour が出ますので、ORNL に行く機会があり時間に余裕があったら参加してみたいかがでしょうか。また、ORNL にもマンハッタン計画当時に建設された Graphite Reactor があります。Graphite Reactor は文字どおり黒鉛減速炉で、当初はプルトニウムの製造に使用されていましたが、その後、種々のアイソトープの製造に目的が変わりました。現在では、National Historic Landmark として年中無休で一般公開されています。

3. NAS section

NAS section は WWW ホームページ (<http://epmnas.epm.ornl.gov/home.html>) の見出しに、"World leaders in radiation transport and physics simulation" とあるように、放射線輸送計算や放射線に関わる物理シミュレーションを一手に引き受けている研究室で、Daniel T. Ingersoll 氏が研究室長をしています。研究室は

- ・ Reactor Physics Group (Brian A. Worley 氏)
- ・ Applied Physics Group (Jeffrey O. Johnson 氏)
- ・ Dosimetry and Shielding Group (Joe V. Pace III 氏)

の3グループで構成されています(括弧内はグループリーダー)。また、Tony A. Gabriel 氏が Office of Accelerator Program の室長という形で NAS section 付きになっており、Robert T. Santoro 氏は NAS section から ITER JCT に派遣されています。メンバーは研究グループの構成からも推測できるように、炉物理の研究者から加速器、核物理の研究者まで幅広い分野をカバーしています。私は、Applied Physics Group に所属し、米国の SNS (Spallation Neutron Source) 計画の放射線遮蔽・放射化解析を担当することになりました。

4. SNS 計画

米国の SNS 計画 (<http://www.ornl.gov/sns/>) は、中性子散乱実験を主体とする中性子科学研究のための核破砕中性子源施設を建設する計画で、DOE は ORNL に施設を建設する計画を承認しています。計画では、1GeV、1mA の陽子を液体水銀ターゲットに入射させ、1MW の中性子ビーム出力を得る施設を設計することになっていますが、将来的には(予算や技術の許す範囲で)出力 4MW までアップグレードされる計画になっています。

SNS 計画は、1998 年度まで概念設計研究が行われ、2006 年度からの施設の運用を目指しています。1999 年度予算から建設コストの一部が予算に含まれるようになりますので、1999 年度予算が当初案通り認められれば計画の前途はかなり明るくなるようです。SNS 計画の全体予算は 1500 億円です。

5. SNS の放射線遮蔽・放射化解析

SNS 計画は 1997 年 6 月に DOE による計画全般のレビューを受けましたが、そのために概念設計報告書を準備しなければなりません。6 月にレビュー会議が行われたため、概念設計報告書の原稿の締め切りは 4 月頃に設定され、そのため、各担当部分の設計結果を出すのは 3 月末となっていました。私が ORNL に着いたのは 1 月の下旬でしたので、約 2 ヶ月で膨大な遮蔽計算と放射化解析をこなさなければならない状況でした。遮蔽・放射化解析は全くの手付かずの状態でしたが、幸い、私の所属した Applied Physics Group のもう一つの重要なタスクである、ターゲットステーションのニュートロニクス解析は順調に進んでおり、その担当だった Lowell A. Charlton 氏や HETC の改良を担当している Joniee M. Barnes 氏が線源項の計算を手伝ってくれたので、大変助かりました。また、遮蔽設計の主な計算には ANISN、DORT を使用しましたが、マニュアル等に記載していない便利な使用法については Richard A. Lillie 氏と David B. Simpson 氏に教えてもらいました。遮蔽設計法の詳しい内容¹⁾については省きますが、その他に CASL (Computer Aided Shield Layout) という半経験式に基づく 3 次元の遮蔽設計コードと ORIHET という HETC の核種生成率の計算結果を読み込みそれらの buildup と減衰を計算するコードを使用しました。これらの計算コードは KFA で開発されたコードで、今のところいずれも非公開となっていますが、ORNL では ESS (European Spallation Source) と核破砕中性子源施設設計に関する協定を結んでおり、ESS 設計に関わる知見を共有できるため、一般には非公開のコードを使用することができました。従来の ORIHET は 20MeV 以上の中性子による寄与しか考慮できなかったのですが (HETC の結果しか扱えなかった)、20MeV 以下の MCNP による計算結果も含めて放射化解析を行うために、計算システムを修正しました²⁾。

遮蔽・放射化解析では以下のような項目について解析を行いました。

- (1) ライナック、蓄積リングトンネルの土盛り遮蔽厚さの検討 (通常運転時、事故時)
- (2) ビームダンプに必要な鉄遮蔽体厚さの検討
- (3) ターゲットステーションの遮蔽体厚さの検討
- (4) 遠隔操作セルの遮蔽体厚さの検討
- (5) 公衆、非放射線作業従事者のアクセスが考えられる場所での線量評価
- (6) SNS 施設の各パーツごとの放射化量評価

これらの計算のうち、(5)、(6)については放射線安全を担当するグループとも連絡を取る必要があり、そのグループからの要求で追加解析などもいくつか行いました。

これらの解析は、線源項を除きすべて discrete ordinates 法による ANISN と DORT を用いて行いました。私が SNS の遮蔽設計に参加した当時は、まだ概念設計の段階だったので、特にターゲットステーションや遠隔操作セルの建物のサイズなどは頻繁に変更になり、計算を 1 からやり直す必要がありました。しかし、discrete ordinates 法の簡便さのために、

比較的短時間で新たな設計に対する解析結果を得ることができました。また、その際、群定数は HILO86 を用いたのですが、短時間で、かつ限られた資源で設計を行うには、新たな群定数の作成をする余裕もなかったため、400MeV までのライブラリで対応することになりました。設計研究を行うにあたり、限られたツールと資源で、いかに最大の output を引き出すかについて、大変勉強になりました。

6. Tower Shielding Facility (TSF)

ORNL 滞在中に Tower Shielding Facility (TSF)を見学する機会を得ました。TSF は 1954 年に原子力を推進力とする飛行機の遮蔽実験を実施するために建設された研究用原子炉です。最大の特徴は、飛行機の体系を模擬するために、原子炉本体を空中に吊り上げることができる点です。原子炉を吊り上げて実施する実験は、初期の段階だけだったようですが、その後、宇宙用原子炉、FFTF、LMFBR、GCFR、HTGR 等、米国で開発が進められた新型原子炉の遮蔽設計研究に供されるとともに、放射線輸送計算コードの検証に重要な役割を果たしてきました。日本では、動燃が JASPER (日米遮蔽実験研究プログラム) を 1986 年から 1992 年まで、高速炉遮蔽研究のために実施し、その成果は核データのベンチマークテストにも利用されています。現在、TSF はすべてのプログラムを終了し、すでに shut down されていますが、この原子炉を医療照射用の原子炉として利用する計画が提案されており、DOE によって検討が進められている段階です。TSF の象徴ともいえるクレーンタワーはオークリッジ近郊の Melton Hill ダム近くのバーベキュー等ができるピクニック施設やゴルフ場のクラブハウスなどからよく見ることができます。始めの頃は、まさか TSF とは思いませんでしたが、実際には TSF で、TSF の様な実験施設を間近に見ることができるのには驚きました。しかし、セキュリティは非常に厳しく、TSF の敷地内に入ることは大変難しいですが、1997 年に F. J. Muckenthaler 氏が、"The Tower Shielding Facility Its Glorious Past"と題して、TSF の歴史や過去の成果を振り返っています(Muckenthaler 氏作の TSF に捧げる詩もあり)³。このレポートを一読してから見学したので、その歴史の重みを感じながら、感慨にふけることしばしでした。

7. ORNL の諸環境

ORNL 滞在中印象に残ったことの一つとして、米国の放射線安全に対する考え方があります。ORNL の敷地内には放射線に汚染されている場所がいくつかあり、それらを除洗する作業が進行中です。ところがその場所というのが、カフェテリア付近の土地や研究棟の外側で、むき出しになっているのです。その脇を通るのは 1 日当たり多く見積もっても 2 分程度なので線量としては全く問題ないのですが、汚染された土壌や配管がむき出しになっているなど、日本では想像できないような放射線作業現場だったので驚きました。

また、市内の小川の土壌の一部が水銀に汚染されていることもわかり、それを取り除く作業が1年にわたって続いたり、新聞やテレビでオークリッジ市内のその他の場所での土壌汚染が報道されたりと、オークリッジを取り巻く環境安全問題はかなり深刻な状況にあるという印象を持ちました。

計算機の利用に関しては、非常に恵まれた環境の中で仕事をすることができました。電子メールの利用がかなり進んでおり、すべての事務連絡は電子メールで行われました。滞在中は、計算機セキュリティ訓練、安全訓練、一般従業員訓練等、様々な教育訓練を受けることを求められましたが、これらの訓練はすべてインターネット上の WWW ホームページを利用して受けることができ、それらの試験（一般従業員訓練は 80%以上の成績を取らないと、教室での再講習を受けなければなりません）を同様にインターネットを介して受験することができました。図書館におけるインターネットの利用もかなり進んでおり、利用者の多い雑誌は、出版社と法人契約をして、雑誌のオンライン閲読サービスを受けられました。また、文献の複写も図書館の WWW ホームページから依頼することができ、外注をしても 2、3 日でコピーが手元に届くシステムには驚きました。また、仕事の内容が放射線防護に関する法令とも密接に絡みあっていたため、それらの法令をあたる必要がありましたが、すべての関連する法令、基準は国立公文書館、エネルギー省、原子力規制委員会のホームページから無料で閲覧が可能でした。

8. 最後に

ORNL 留学中は、SNS 計画の概念設計研究に携わることができ大変幸運でした。特に私にとって、設計研究は初めての経験でしたので、学ぶところ大でした。SNS 計画の成功を祈らずにはいられません。また、オークリッジは自然環境もすばらしく、近くには Great Smoky Mountains 国立公園もあり、自然を満喫することができました。有意義な生活を支えていただいた ORNL の方々、オークリッジ市の皆さんに、この場をお借りして感謝申し上げます。最後に、この様な貴重な機会を与えていただいた科学技術庁に感謝致します。

参考文献

1. J. O. Johnson, et al., "The Spallation Neutron Source (SNS) Conceptual Design Shielding Analysis," Proc. 1998 ANS Radiation Protection and Shielding Division Topical Meeting, to be published.
2. N. Odano, et al., "Development of the Activation Analysis Calculational Methodology for the Spallation Neutron Source (SNS)," Proc. 1998 ANS Radiation Protection and Shielding Division Topical Meeting, to be published.
3. F. J. Muckenthaler, "The Tower Shielding Facility Its Glorious Past," ORNL/TM-12339 (1997).