

## 会議のトピックス(IV)

# 不毛のニュートリノと核データ —IAEA 会合 Nuclear Data for Antineutrino Spectra and Their Applications—

東京工業大学

吉田 正

[tyoshida@nr.titech.ac.jp](mailto:tyoshida@nr.titech.ac.jp)

## 1. はじめに

ソヴィエト連邦が人類史上初の人工衛星を打ち上げ、「スプートニクショック」と名付けられた時代の雰囲気はまだ残るころに筆者は学生時代を送った。これからは理工系の支配言語になるぞと脅かされてロシア語を齧ってはみたものの、その何とむつかしかったことか。動詞が変化すると原形の面影さえなくなってしまうのには参った。筆者の能力では役に立つレベルには達するはずもなく、その後にはちょっぴりの興味だけが残った。T社勤務時代に研究所の図書館で何気なくソ連の原子力論文誌「Атомная Энергия (Atomic Energy)」をめくっていると原子炉容器直下に置かれた、なにやら巨大な粒子検出器の図を発見した。辞書にかじりつきながらどうにか粗筋だけを追ってみると、それはニュートリノで原子炉運転状況を監視するという論文だった。本当にそんなことができるのかと大いに疑いつつも、記憶に強く残った。それから数十年後、ベータ崩壊大局的理論の提唱者の一人で現在はドイツに暮らす高橋耕士さんから、「原子炉ニュートリノ異常」がいま話題沸騰だと聞かされると、その記憶がそれまでやってきた崩壊熱総和計算と原子炉ニュートリノ（正確には原子炉反ニュートリノ、以下  $\bar{\nu}_e$  と略記）を結びつけ、いくつかの計算を行うきっかけとなった[1, 2]。さらにこれが、筆者が長年かかわってきた IAEA の TAGS 諮問者会合の活動[3]と結びつき、表記会合への参加を打診されると、ついつい老齢を顧みず出席することにしてしまった。少年老い易く学成り難し！

## 2. 不毛なニュートリノとニュートリノ異常

ベータ崩壊に際し放出されるベータ線のエネルギー分布は連続的である。ある上限値以下のどんな値も取りうる。あたかもエネルギー保存則が成り立たないかのよう。実際、ニールス・ボーアはエネルギーが保存されないという立場をとった。一方、リーゼ・マイトナーらへの書簡(1930)で、パウリは残りのエネルギーは未知の(謎の?)中性粒

子が持ち去ると提唱した。パウリくらいになると、論文に書かなくとも、手紙を出ただけで歴史に名が残る。現代と異なり、素粒子・原子核物理学がごく少数の天才たちのローカルな（ある意味閉じた）コミュニティによって担われていた左証なのだろう。フェルミはそのベータ崩壊の理論にパウリの謎の粒子を持ち込み、理論の中核に据えてニュートリノと名付けた。フェルミ理論は素人目にも美しい。その基本形は現代まで生き残っている。我々に興味のあるベータ崩壊の理論に現れる相互作用の項の中核は、フェルミ理論の発展型に現れる V-A（Vector マイナス Axial-Vector）弱カレント  $J^\mu$  であり、例えばこれはそれぞれ電子とニュートリノを表す四成分スピノールと呼ばれる量  $\bar{u}_e$  と  $u_\nu$ 、それに  $4 \times 4$  のディラック行列  $\gamma_\mu$  ( $\mu=0\sim 3$ ) を用いて  $J^\mu = \bar{u}_e \gamma^\mu \frac{1}{2}(1 - \gamma^5) u_\nu$  のように表される。突然こんなことを書き出した理由はただ一つ、この中の因子  $\frac{1}{2}(1 - \gamma^5)$  が左巻きニュートリノ（あるいは右巻き反ニュートリノ）を選び出す演算子になっていることに尽きる。ちなみに  $\gamma^5$  は  $\gamma^5 \equiv i\gamma^0\gamma^1\gamma^2\gamma^3$  で定義される。この因子の存在によりベータ崩壊の理論から右巻きニュートリノ（あるいは左巻き反ニュートリノ）は排除され、（標準理論の観点からは）有っても無くてもいい余計者、それどころか有るか無いかすらわからない邪魔者となった。これが Sterile Neutrino（不毛のニュートリノ）と呼ばれる理由である。ここでは簡単そうに書いてきたものの、この問題は大変に根が深い。例えば、「Sterile Neutrino 白書」という膨大な review paper があるが (<http://cds.cern.ch/record/1443738?ln=ja>)、これはページ数 269、引用論文数 734、筆者ごときの読み通せるようなものでない。

ところがここ 10 年ほど前から活発になった原子炉反ニュートリノの逆ベータ崩壊反応（Inverse Beta Decay, IBD） $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$  を用いた直接測定結果が予測値（Huber [4]、Mueller [5] のモデルで略称 HM モデル、予測とはいっても測定に準拠している→後出）より 7% ほど小さかったことから、炉心内 FP のベータ崩壊（崩壊熱の原因でもある）で生まれる電子型反ニュートリノ  $\bar{\nu}_e$  の一部が Sterile Neutrino に変身しているのでは無いかとの説も唱えられ [6] 大騒ぎとなった。これは「原子炉ニュートリノ異常」、あるいは略して RAA（Reactor Antineutrino Anomaly）などと呼ばれる。最近、この説に批判的な意見も増えてはいるらしいが、問題が解決されたわけではない。いま HM モデル値より 7% ほど小さいと述べたが、これは全 IBD 反応数で言っているのであり、不確定要因も多い。図 1 は  $\bar{\nu}_e$  フラックスと IBD 反応断面積 [7]、それにこの二つの積である IBD 反応率のエネルギー依存性を示す。反応のピークは 4 MeV 弱のところであり、以降エネルギー増加とともに急速に小さくなって行く。なお本図はあくまでも概形を見て頂くために描いたので、細かな構造を議論できる精度の図ではない点をご容赦頂きたい。HM モデルと相補的な計算法が原子炉崩壊熱計算で使われる FP 総和計算法で、これが核データと  $\bar{\nu}_e$  フラックス、 $\bar{\nu}_e$  スペクトルを結びつける。今回の IAEA 会議の主眼もこの結びつきにある。ここで言う核データは核分裂収率と崩壊データであり、この点も原子炉崩壊熱計算の場合と全く同様である。

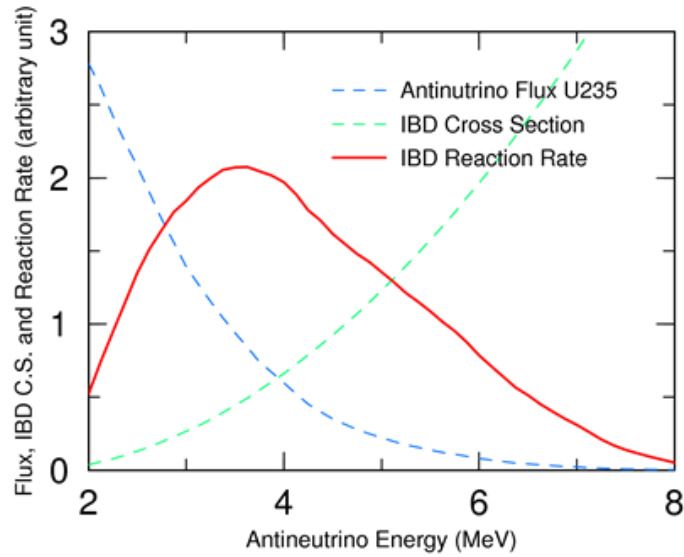


図1 原子炉反ニュートリノフラックス、IBD 反応断面積、および反応率のエネルギー分布の概観

### 3. 今回会議の経緯

出席者は米国 13 人、中国 5 人、フランス、ドイツ、韓国、ポーランドが各 2 人、ベルギー、日本 (LANL 河野俊彦さんは当然米国でカウント)、ロシア、英国が 1 人ずつ。IAEA 側は Paraskevi (Vivian) Dimitriou さんが担当で、冒頭挨拶された Arjan Koning 核データ課 (NDS) 長と Roberto Capote さんがたまに、Jean-Christophe Sublet さんと奥村 森さんが折に触れて顔を出された。IAEA/NDS の会議としては異例の大人数だったのではないか。以下、会議の開催日に分けて簡単に内容をご紹介しますが、副題は筆者が勝手につけたもので、AGENDA に記されているわけではない。以下、長くなるので興味のない部分は読み飛ばされて差し支えはありません。



図2 会議会場のご存知 IAEA 本部

### 3.1. 1日目 - $\bar{\nu}_e$ の直接測定

会議は BNL の Alejandro Sonzogni さんを座長に選び、まず、主に商業炉の周辺に設置した検出器による  $\bar{\nu}_e$  エネルギースペクトル直接測定と、炉の長期運転に伴う  $\bar{\nu}_e$  フラックス (絶対値を含む) の年単位変動の解釈等を中心に 7 件の発表があった。さすが物理分野は論文化がはやく、すでに Phys. Rev. Lett. 等で報告されている内容と重複する話が多い。そこで、それぞれの話に関連の深い最近の論文か、投稿中論文の arXiv 番号を、分かる範囲に入れておく。検出は全て IBD を用いて行われている。出てきた  $e^+$  のシンチレーション光を検出し (これを “prompt” 光、そのエネルギーを Prompt Energy  $E_p$  と呼ぶ)、つづいて反跳で動き出した  $n$  (中性子) が数十ナノ秒後に dope された Gd ないし  ${}^6\text{Li}$  に捕獲されて出てくるガンマ線を遅延コインシデンスで選び出し、active veto を行うというものである。最初の登壇者 C. Jollet さんは、フランスのベルギーとの国境近くにある Chooz 原子力発電所 (NPP) の 2 機の PWR を利用した Double Chooz 実験の理論面を担当し、上記のような総論や実験の概要および結果とともに、 $E_p = 5 \text{ MeV}$  にピークを持つ幅約  $1 \text{ MeV}$  の HM スペクトルからのズレを紹介した。ズレのピークは  $\bar{\nu}_e$  のエネルギー  $E_{\bar{\nu}_e}$  で見ると約  $6 \text{ MeV}$  に相当し、これが本稿冒頭で紹介した積分値のズレ「原子炉ニュートリノ異常」とも深く関わると考えられる「原子炉ニュートリノ スペクトル異常」である。これは単に「Bump」とか「Shoulder」とも呼ばれるが、本稿では Spectrum Anomaly (SA) を採ろう。この講演のいちばんの結論は、実験本来の目的である  $\theta_{13}$  値なのであるが、これは今回会議の主旨も勘案し arXiv:1901.09445 に全て譲ろう。

続いて、 $\theta_{13}$  実験値精度向上競争の先頭を走る Daya Bay (6 機の PWR を 8 台の検出器が見込む) 実験を中心に、これと競争する韓国の RENO 実験の報告 (S.-B. Kim 氏) を挟んで、中国からの発表が 3 件続いた。L. Zahn さんの発表は Daya Bay での  $\bar{\nu}_e$  スペクトル測定に的を絞った発表。筆者は文献[8]を主に参照してきたが、最新の arXiv:1904.07812 (350 万 events) が参照可能とのこと。Daya Bay 実験、RENO 実験ともに SA を報告している。次の JUNO -TAO 実験は香港を挟んで東側にある Taishan & Yangjiang NPPs で行われており、日本の KamLAND に似たバルーンタイプの液体シンチレータを用いている。中国は  $\bar{\nu}_e$  実験に巨額の資金投入をしているらしい。日本では原子炉の運転停止のため KamLAND が本領を発揮できないでいるのが残念でならなかった。たまたま夕食会で隣になった上記 RENO 実験の Kim さんが「Daya Bay は予算規模が大きくて検出器を 8 台も持っているのに比べ RENO は 2 台。単純に言うと統計精度は  $\sqrt{8/2} = 2$  で 2 倍だ。我々はなんとか 2 台で精度を 1.5 倍上げたい」と語っていたのが印象に残る。

この日の最後、IBD 検出器 CHANDLER に関する Virginia Tech. の J. Link さんの発表は、むかしレーザー応用で光学系をやっていた筆者には特に面白いものであった。小さな立方体の個体シンチレータを多数個立方体状に並べ、IBD の位置情報も取り出し可能とす

る検出器設計は光学系も含めまったく新規であるし、将来は IBD 検出器をトレーラーに乗せて疑惑の原子炉(あるいは国)を監視するという可能性に道を開くものである。実際、米国で運転できない留学生達に代わり自らハンドルを握って miniCHANDLER を積んだトレーラー Mobile NEUTRINO LAB (arXiv:1812.02163) を North Anna NPP に乗り付けて採ったデータが示された。少なくとも原子炉の稼動/停止がはっきりと見分けられている。こういうデモンストレーションをやられては、DOE (DOD あるいは DHS かもしれない) も予算をつけ易くなるだろう。学生時代に無理に読んだあの Атомная Энергия 論文はウソではなかったのだ。

### 3.2. 2 日目午前 - 直接測定(続き)とその評価

最初は S.-H. Soe さんによる、ソウルと Jeju を結ぶ線上にある Yeonggwang NPP での  $\bar{\nu}_e$  測定実験の報告であり、商業炉を用いた実験では  $\bar{\nu}_e$  線源(5号機炉心)から検出器までの距離が 23.7m ととても短いのが大きな特徴となっている(NEOS 実験 [9])。確認済みの三つの Flavor に対応する 3 種類に加え 4 つ目のニュートリノの検証を目的とする (3+1  $\nu$  振動)。つまり  $\theta_{14}$  が問題になっている。基礎物理的には興味深いものであろうが、核データとの関連はやや薄い。今のところ 4 つ目のニュートリノ (Sterile Neutrino かも) の強い証拠は得られていないとのことであった。このあと、炉物理・核データでも馴染みの深いベルギー Mol の BR2 炉を用いた SoLid 実験(講演者は英国の A. Vacheret 氏)、Kalinin NPP の VVER1000 を用いた DANSS 実験(ロシアの D. Svirida 氏)、Oak Ridge の高フラックス照射炉 HFIR を用いた PROSPECT 実験 [10] (arXiv:1808.00097v1、米国の Heegar 氏)と続いたが、一件一件の紹介はここでは省きたい。興味のある方は、引用した関連論文に当たるか、プロジェクト名で検索するとそれぞれの HP がご覧いただける(DANSS は未確認のため arXiv:1804.04046 を参照されたい)。なお、DANSS および PROSPECT では Sterile Neutrino 探査等の純粋物理研究と並行して  $\bar{\nu}_e$  による原子炉炉心監視も大きく視野に入っている点を強調しておきたい。炉心監視となると、検出器の①小型軽量化、②可動化、③地表レベル高バックグラウンド下での可動がポイントとなる。実際、各実験とも独自の優れたアイデアで Gd や Li をドーピングした小型個体 (PROSPECT はセグメント型液体) シンチレータを開発し使用している。これにより数メートルサイズの、地表近くに置いた小型検出器でも、時間さえかければ、そして炉心にさえ近ければ、 $\bar{\nu}_e$  のさまざまな測定が可能な時代になっている。米国 LLNL の N. Bowden さんは PROSPECT 実験を原子炉炉心監視という観点から総括した。IAEA における  $\bar{\nu}_e$  による炉心監視への取り組みを述べ、PROSPECT、NUCIFER (Osiris 炉 @ Saclay)、SONGS (@ San Onofre Nuclear Generation Station) 等やや古い実験も引用しつつ、 $\bar{\nu}_e$  により原子炉運転状況を可視化するようすを実データで紹介してくれた。現状、Statistics は十分なものであるとは思えないが、特に米国でこの技術はそれなりの予算が付いている(いた?) ようである [11]。

ひとつ強調したいのは、本稿で各論を省略したくなるほど多くの  $\bar{\nu}_e$  実験が世界各国で行われていることである。本節冒頭の参加者リストでお分かりのように、日本からは筆者のような非専門家一人しか参加していない。また Grenoble の高中性子束炉での STEREO 実験、Saclay/Osiris 炉での Nucifer 実験、そしてなりより日本の KamLAND からの報告（引用は多々なされていたが）がなかったのは寂しい限りだった。小型・可動化、地表レベル設置、高バックグラウンド下検出などは日本向きの研究開発であると思うのだが。

Y. Frenenko 氏（米国 ORNL）によるセッション最後の発表は、重水 0.7 トンを使った実験で、理論的に予言されていた  $\bar{\nu}_e$  による原子核の弾性散乱が初めて確認されたというものである。弾性散乱の断面積は IBD の 1000 倍あるということで、同氏も “...excellent potential candidate for reactor neutrino detection.” と述べ夢を抱かせたが、 $\bar{\nu}_e$  散乱による原子核のささやかな反跳をどうやって検出するのか。申し訳ないが筆者のメモには arXiv 番号も含めほとんど記述がない（眠っていたわけではありません！）。「COHERENT experiment neutrino」で引くとそれなりの情報は得られる。

### 3.3 2 日目午後 - 標準スペクトルと総和計算

この日 5 つ目のセッションはまず標準スペクトルに関わる話で、本稿冒頭で述べた Huber-Mueller モデルの Huber さん（バージニア工大）が自分のスペクトルモデルを敷衍する内容の話をした。長髪をポニーテールにした昔のヒッピー風の風貌で、元々彼の論文 [4, 12] を筆者がちゃんと理解していないうえ、早口に喋りまくるものだから実はよくわからなかった。メモを見ると白紙になっている。ゴメンナサイ、勉強して出直します。

もともと標準スペクトルなるものは、ピュアな fissile sample を高中性子束炉で照射し、出てくるベータ線のスペクトルを測定して理論（簡単に言えば Fermi 関数とその周辺）に基づいて反ニュートリノスペクトルに変換して得られたもので、現在では HM スペクトル が広く使われている。照射中の fissile サンプルからのベータ線スペクトルは Schreckenbach のグループが Grenoble の実験炉で長年かけて測定したものしかなく、引用すべき文献も多数あるのでここで深入りしない。興味がお有りの読者は文献 [1]、[2]、[5] などから孫引き参照して頂きたい。この変換に関わる詳細を議論した米国 LANL の A. Hayes さん、ルーヴェン・カソリック大学の L. Hayen さんの話は、ここで紹介するにはやや専門的に特化しすぎるので、それぞれ文献 [13]、[14] に譲るにとどめたい。かわりに蛇足をひとつ。かつてエラスムスやメルカトルも教えたベルギーの名門、ルーヴェン・カソリック大学は古都ルーヴェンにあった頃から フランドル (オランダ) 語話者のための大学と ワロン (フランス) 語話者のための大学とに分かれていた。国内のフランドル地域とワロン地域の歴史的対立の余波である。その後、後者は家出をして 25km も離れたワロン地区にある Louvain-la-Neuve に新校舎を建てた（建てたから Louvain-la-Neuve になったのかも？）。前者がルーヴェン・カソリック大学、後者がルーヴァン・カソリック大学であ

る。世の中に紛争のタネは尽きないようだ。これはむかしルーヴェンを観光しようと調べていて記憶に残っていたことである。

次のセッションは総和計算を中心にした話。最初に筆者がベータ崩壊の大局的理論だけに基づいた計算 [2] を中心に、のちに述べる  $\bar{\nu}_e$  総和計算における isomeric state の重要性や Pandemonium 問題の話をした。この計算、いま述べた準実験データ (=HM モデル) を全体的によく再現する (図 3)。一方、細かく見るとわれわれの計算では SA は現れず、Daya Bay 等の直接測定結果を支持する (図 4)。

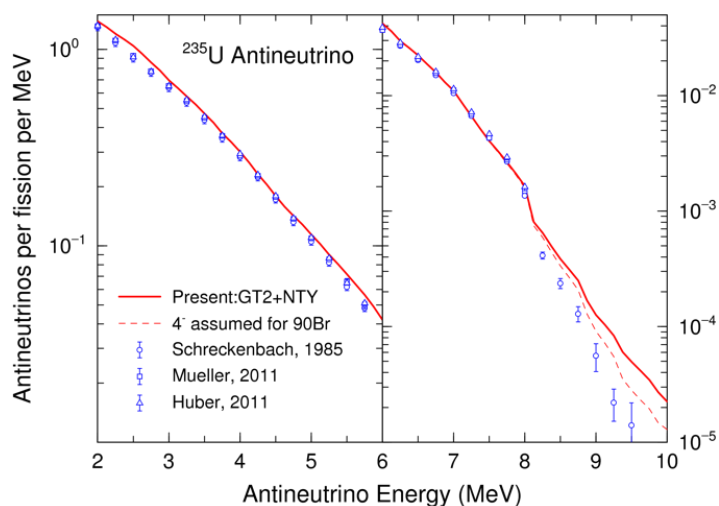


図 3 原子炉反ニュートリノの計算値と測定値の比較

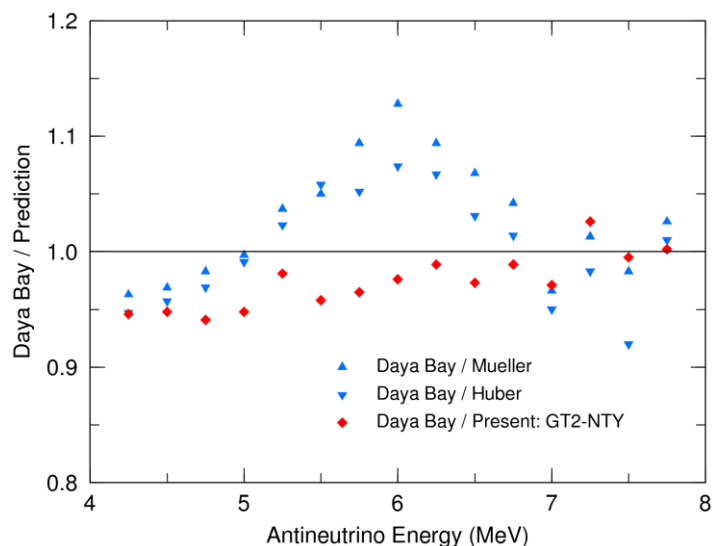


図 4 原子炉反ニュートリノの Daya Bay 測定値と Huber、Mueller モデルの比

続いてフランスの M. Fallot さんが長年改良を続けている  $\bar{\nu}_e$  スペクトル総和計算を報告した。彼女のグループは個々の FP の崩壊データ測定値（後出の TAGS データを含む）を全面的に用いているが、測定データのない FP 核種には我々の理論スペクトルを採用している。違うのは SA に関する結論で、Fallot 計算は Daya Bay 等の直接測定結果ではなく HM スペクトルを支持している。これは TAGS データの採用に負うところが大きいと思われる。

続く BNL/NNDC の Alejandro Sonzogni さんの話は Daya Bay、PROSPECT、Huber の三つのデータを統合的に説明できるか否かを感度解析によって分析する試みであり、 $^{235}\text{U}$  の  $\bar{\nu}_e$  に問題があることを示唆しつつも三者を整合的に受け入れる解は無いと結論した。また同氏は  $\bar{\nu}_e$  スペクトルは滑らかではなく微細な構造を持つという主張から詳細な分析も行なっている。もしそのようなことがあれば、微細構造は核分裂核種に依るだろうから  $\bar{\nu}_e$  による炉心監視技術という観点からは歓迎すべきことであろう。イベント数を稼げば炉心燃料に関する情報を引き出せる可能性にもつながる。以上で会議 2 日目のトークが終わりであるが、実際には Fallot、Sonzogni 両氏の話は翌 25 日朝にずれ込んだ。

#### 3.4. 3 日目 - TAGS、核分裂収率、その他

TAGS（全吸収ガンマ線分光）の話は今回会議の  $\bar{\nu}_e$  の目玉の一つであり、バレンシア大の A. Algora さん、ワルシャワ大の M. Wloinska さん、ORNL の K. Rykaczewski さん、同 B. Rasco さんと四件の話があった。しかし今回の会議は、今まで交流の少なかった  $\bar{\nu}_e$  の直接測定者および標準スペクトルのコミュニティー（1 日目と 2 日目前半）と崩壊&核分裂収率データ/総和計算/TAGS グループ（後半）の出会いの場とレビューの意味合いが強く、前回の TAGS 諮問者会合からも一年しか経っていない。当該会合の詳細は昨年 6 月に本誌上で報告した [3] のので、ここでは各論は省略する。なお Valencia-Nantes グループはその後  $^{100}\text{Nb}$ 、 $^{102}\text{Nb}$  のそれぞれ ground および isomeric state からのベータ強度 [15] を publish した。これは ORNL グループの  $^{92}\text{Rb}$ 、 $^{96}\text{Y}$  および  $^{142}\text{Cs}$  の測定 [16] とともに、TAGS からの  $\bar{\nu}_e$  総和計算への大きな貢献であることは強調しておきたい。

続いて、ANL の F. Kondev さんであるが、前回の TAGS 諮問者会合では ORNL で使っていた MTAS（Modular Total Absorption Spectrometer）を CARIBU Facility に移設して大々的に測定すると意気盛んだったが、今回は高性能の Gammashpere の話をし、TAGS に関してはトーンダウンしていた。2 日目の会食の際に隣りあったので TAGS に話を振っても乗っては来てくれなかった。MTAS 検出器はその次の行先である Michigan State University に直行したのか等の詳細を聞き逃してしまったのが残念である。次に核分裂収率理論（？）コード GEF の開発・管理者である K.H.-Schmidt さんの話がある。同氏はトレーラーを引っ張ってダルムシュタットからヴィーンまでやって来てしまう元気老人である。GEF コードは広く使われているようだが、常に works in progress でご本人と同じ



数値が出てこない、との声も会場あるいは翌週訪れた OECD/NEA でも耳にした。

次は、核分裂収率。LANL の河野俊彦さんが、Monte-Carlo 法に頼ることなく解析的な方法で Hauser-Feshbach 計算を行い、primary products から cumulative yields までを繋ぐ理論計算とコードの話がされた。筆者自身この前日「spin-parity が大きく異なる分 isomer と ground の反ニュートリノスペクトルは必然的に大きく異なるはずだから isomeryield の重要性は崩壊熱の場合よりグンと増す。したがって isomeryield の評価は特別重要となる」、と述べたばかりであった。文献[17]の奥村、河野らの論文（昨年度日本原子力学会論文賞）は isomeryield の理論計算に初めて本格的に取り組んだ論文であり、この成果も上記計算に取り込まれている。世界的に見て、核分裂収率の評価は精力的にこれを行なった世代の退場（米国では T.R.England 氏の退職・逝去、英国では R.Mills 氏の遺産の継承）問題を抱えており、河野氏、奥村氏に期待するところは大きい。最後に独 Aachen 大学の M.Wittel さんの反ニュートリノによる放射性廃棄物監視の可能性の検討である。筆者の感想はこれは難しいな尽きる。フラックスは炉心に比べ格段に低いし、エネルギーも小さい。



図 5 右から LANL の河野俊彦、筆者、IAEA 核データ課の奥村森、大塚直彦の各氏

#### 4. 会議を終えて

帰路パリに寄って、OECD/NEA の Data Bank 長をしている須山賢也さんをお訪ねし、使用済み燃料組成データベース SFCOMPO や JEFF の崩壊データ、核分裂収率データについていろいろ伺うことにしていた。だが出発直前、なんとパリの象徴ノートルダムが大火災に見舞われようとは！パリ到着時はまだ明るく、ノートルダムから徒歩 10 分ほどの場

所にあるホテルだったので、火災現場に足を運んだ。大聖堂周辺は警察と消防に閉鎖されて近づけないので大きくまわり道し一回りしてみた。西側正面から見る限り大きな変化は認められなかったが、セーヌ川に沿って後陣部に回り込むと屋根が全て崩落し、応急処置用と思われる小屋が建てられてクレーンが運び込まれている。ステンドグラスの翼廊薔薇窓には覆いがかけられ損傷のほどが窺われた。



図6 火災から12日目のノートルダム大聖堂（時計回りに聖堂を南から北へ）

NEA Data Bank では須山さんが時間を割いてくださり、JEFF の coordinate を担当されている Franco Michel-Sendis さんを紹介してくださった。JEFF の将来計画に関して7月にDBで会合を予定しており、崩壊データファイルと核分裂収率ファイルの整合性には特に留意しているとのこと。崩壊データファイルには TAGS データをなんとか入れたいがフォーマット等考えなければいけないことが多々あり、一方、収率に関してはIAEA 会合にも出席していた Karl-Heinz Schmidt さんが開発／メンテナンスしている GEF コードを積極的に使うが計算値をそのまま収納したりはせず、あくまで評価の tool としての利用を考えていることなど、貴重なお話を伺うことができた。

## 5. おわりに

今回の会議は、TAGS 測定の方角づけと調整のために十年を費やした TAGS 諮問者会合に一区切りが着いた時点で、その発端となった原子炉崩壊熱と同じ問題、ただし切り口のみが異なるという良い原子炉ニュートリノ総和計算に関わる世界で「原子炉ニュートリノ異常」、「原子炉ニュートリノスペクトル異常」がクリティカルな問題になっていたことが背景となり開催された。一方はニュートリノ物理の実験者グループ、もう一方は不安定核ベータ崩壊の実験・データ評価者の集団で、やり方や考え方の違いに驚き、戸惑うことも多かった。しかし、それだけに教えられことも多々ある有益な会議であった。次回は2年後、でもその時は原子炉炉心や燃焼の専門家も呼ぼう、という話になった。2年後、私が参加することはもうないだろうなと思いつつ、おいおい私は高速炉と軽水炉の違いはあっても原子炉炉心や燃焼の専門家だったはずなのに、と複雑な思いでウィーンを後にした。会議最終日を費やした Round-table discussion で混乱の中から推敲された「recommendation」はそう遠くないうちに刊行される予定ですので、その節には読者各位にお知らせさせて頂きたいと存じます。

## 参考文献

- [1] Yoshida T., Tachibana T., Hagura N., Chiba S., *Prog. Nucl. Energy*, **88**, 175 (2016)
- [2] Yoshida T., Tachibana T., Okumura S., Chiba S., *Phys. Rev. C* **98**, 041303(R) (2018)
- [3] 吉田 正, パンデモニウム問題再訪 -全吸収ガンマ線分光の応用に関する IAEA 諮問者会合-, 核データニュース, No.120(2018)
- [4] Huber P., *Phys. Rev. C* **84**, 024617 (2011)
- [5] Mueller T.A., Lhuillier, Fallot M., Letourneau A. *et al.*, *Phys. Rev. C* **83**, 054615 (2011)
- [6] Mention G., Fechner M., Lasserre T., Mueller T. A. *et al.*, *Phys. Rev. D* **83**, 073006 (2011)
- [7] Vogel P., Beacom J. F., *Phys. Rev. D* **60**, 053003 (1999)
- [8] An F.P. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **118**, 251801 (2017)
- [9] Ko Y.J. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **118**, 121802 (2017)
- [10] Ashenfelter J. *et al.*, *J. Phys. G : Nucl. Part. Phys.*, **43**, 113001 (2016)
- [11] Christensen E., Huber P., Jaffke P., Shea T.E. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **113**, 042503 (2014)
- [12] Huber P., *Phys. Rev. Lett.*, **118**, 042502 (2017)
- [13] Hayes A.C., Jungman G., McCutchan E.A., Sonzogni A., Garvey G.T., Wang X.B., *Phys. Rev. Lett.*, **120**, 022503 (2018)
- [14] Hayen L., Kostensalo J., Severijns N., Suhonen J., *Phys. Rev. C* **99**, 031301 (R) (2019)
- [15] Guadilla V., Algora A., Tain J.L., Estienne M., Fallot M., *Phys. Rev. Lett.*, **122**, 042502 (2019)
- [16] Rasco B.C., Wolinska-Cichoka M., Fijalkowska A. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **117**, 092501 (2016)
- [17] Okumura S., Kawano T., Jaffke P., Talou P., Chiba S., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **55**, 1009 (2018)