

大震災に見舞われながらも、ITシステムは問題なく稼働し、100%の研究体制を継続



国立大学法人東北大学（以下、東北大学）のニュートリノ科学研究センターでは、新たな研究プロジェクト「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の探索」を開始するに当たり、IBMの分散共有ファイル・システム General Parallel File System（以下、GPFS）、IBM System x iDataPlex、IBM System Storage DCS9900 などから構成されるシステムを導入。処理速度が従来に比べて17倍以上向上した新しいシステムは、2011年2月1日、無事稼働を開始しました。

そして3月11日の東日本大震災。ニュートリノ科学研究センター2階に設置された新しい機器は、激しい揺れに遭遇し、中には20cm程度位置のずれたラックもありました。3日後、電力が復旧して電源を入れたところ、まったく問題なく稼働を再開しました。その後ニュートリノ科学研究センターの研究体制はほぼ完全に回復し、現在も新たな研究成果の達成に向けての活動が続けられています。

Interview ①

Problem-free Operation of IT Systems and Continuation of a Fully Working Research System after a Major Earthquake

Tohoku University's Research Center for Neutrino Science installed a system comprised of the IBM General Parallel File System (a distributed file sharing system), IBM System x iDataPlex, IBM System Storage DCS9900, and other components in order to commence its new research project, "A search for neutrinoless double beta decay." This new system, which has a processing speed more than 17 times faster than the previous system, was operating without problems on February 1, 2011.

When the Great East Japan Earthquake hit Japan on March 11, the new machines installed on the second floor of the Research Center for Neutrino Science were subjected to severe shaking, and some racks were displaced about 20 cm. Three days later, when they were turned on after the power was restored, they restarted with no problems. Following this, the research system at the Research Center underwent an almost complete recovery, enabling activities aimed at achieving new research results to continue there.

大震災に見舞われるも 5日後には100%の研究体制が復旧

2011年3月11日に発生した東日本大震災。宮城県仙台市に位置する東北大学も被災し、その被害は甚大な範囲に及びました。

当時の様子を東北大学 ニュートリノ科学研究センターセンター長 教授 井上 邦雄 氏は次のように語ります。

「地震発生時は春休みに入っていましたので、多くの学生が地元に戻っているなどしていたため、人的被害は最小限に抑えられたと思います。しかしながら、その被害は建物などの設備にも及び、28棟が建て替えを必要とする状態になってしまいました」

そのほかにも約7,000台の実験機器を破損するなど、東北大学全体の被害総額としては770億円ほどに及びました。

「ニュートリノ科学研究センターの建物に関しては、昨年耐震補強工事を行っていたおかげで、大きな被害はありませんでしたが、地震発生直後は停電や断水など、ライフラインは利用できない状態となってしまいました。しかし、ほかの施設などの被害と比べるとその程度で済んだということは今後の研究の継続という観点からはよかったと思います」(井上氏)。

地震発生から3日後の3月14日には電力が復旧。即座にメール・サーバー、Webサーバーが問題なく起動しました。その後さまざまな電気機器が回復する中、3月16日には新システムの再始動テストも行われました。

「サーバーなどの機器類は、転倒するような事態にはなっていませんでしたが、1トンあるIBM System Storage DCS9900がラックごと、設置位置からかなり移動していましたので、大きな揺れにより激しく動き回ったのだと思います。電源を入れ直す際も、正直動かないのではないかと、いう気持ちの方が強かったですね」(井上氏)。

いよいよ電源を入れてみると、システムは震災以前同様に、問題なく稼働を再開し始めました。

「正常運転を示すLEDが点滅した瞬間は感動しましたね。ニュートリノ科学研究センターのほかの施設については大きな被害がありませんでしたので、システムが稼働した時点で研究機能のほぼ100%を回復した状態となったのです。その後日本アイ・ビー・エム株式会社(以下、日本IBM)や株式会社アイティークルー(以下、アイティークルー)の方が点検に来られたのですが、まだ交通も復旧せず大

国立大学法人東北大学
ニュートリノ科学研究センター
センター長
教授
博士(理学)

井上 邦雄 氏

Dr. Kunio Inoue

Director & Professor
Research Center for Neutrino Science
Tohoku University



変な状況の中、わざわざ足を運んでいただけたということは非常にありがたかったと感謝しています」(井上氏)。

物質の根源を構成するニュートリノを研究し、 宇宙や地球の成り立ちを解明

東北大学は、東京帝国大学、京都帝国大学に続く3番目の帝国大学として1907年に創立(当時は東北帝国大学)されました。そして、専門学校、高等師範学校の卒業生、あるいは日本で初めて女子にも門戸を開く「門戸開放」と、研究者が独創的な研究成果を次々と生み出しながら、それを学生の教育にも生かす「研究第一主義」の精神を建学の理念として確立。その後も日本を代表する国立大学の1つとして活動を続け、現在でもこの2つの理念を掲げながら、世界最高水準の研究・教育を創造し、研究の成果を社会が直面する諸問題の解決に役立て、指導的人材を育成することによって、平和で公正な人類社会の実現に貢献することを使命としています。

最先端の研究を理念の1つに挙げる東北大学ですが、ニュートリノについての研究も積極的に取り組んでいる分野の1つです。ニュートリノとは物質を構成する最小単位の素粒子の1つで、太陽や地球、原子力発電所などから大量に発生しています。ニュートリノは地球や宇宙を構成する究極の物質なので、ニュートリノの性質を明らかにすることができれば、自然の究極の姿に迫ることが可能になると期待されています。例えば自然界に存在する力(重力や電磁気力など)の根本が明らかになる可能性もあれば、地球や太陽を含めた宇宙がどのように誕生し、進化してきたのかということも判明するかもしれません。

このニュートリノ研究の意義について、井上氏は次のように語ります。

「物質を構成する素粒子の中ではニュートリノが宇宙で一番数多く存在しています。従って、宇宙が誕生して、今のような世界ができるまでのいきさつには、ニュートリノが大きくかかわっているのだろうといわれています。一方で地球の内部に関してもいまだに数多くの謎が存在します。46億年前に地球が生まれたとき、コアやマントルがなぜ今のように構成されたのかということは分かっていません。あるいは地磁気は現在弱まっていて、この100年での減少率が1,000年続くとゼロになってしまう計算になります。この現象への対策を講じるためには、そもそも地磁気がどのようなメカニズムで発生するのかということを知る必要がありますが、これもまだ解明されていません。こうした現象を研究するためには、地球内部の熱源について調べなければならないのですが、理論的予測ではこの熱源の半分程度は放射性物質によるものだといわれています。この予測を裏付けるためには、放射性物質から発生しているニュートリノを観測することが有効になります。このようにニュートリノの研究は、宇宙を知ること、地球の内部を知ることなどを目的としています。しかし、ニュートリノは物質の根源を構成するものですので、これを研究するということは、もっと多くの、予想もしなかった成果をもたらす可能性を秘めています。わたしたちが熱心に研究を続けている動機としては、何かの役に立てるためというよりは、宇宙をもっと理解したいという好奇心が一番大きいのではないのでしょうか」

低エネルギーのニュートリノ観測に向けた新しい実験施設「KamLAND」を開設

東北大学では、このニュートリノを含む本格的な素粒子の研究を1960年代から開始しています。1971年には、泡箱写真解析施設が完成しました。泡箱とは液体水素などを満たした検出器のことで、この液体中を走った荷電粒子の飛跡を写真撮影することで素粒子反応を観測します。しかし、この方法による観測には繰り返し頻度に限界があるため、新たな潮流として岐阜県の神岡鉱山の地下約1,000mにカミオカンデという信号をすべて電子回路で処理する施設が1983年に設置されました。カミオカンデは地下に造られたことから、宇宙線の影響を受けにくく、約3,000トンの純粋水を蓄えた巨大な設備で観測を行うので、ニュートリノの観測にも有効でした。

このカミオカンデは国立大学法人東京大学が中心となっ

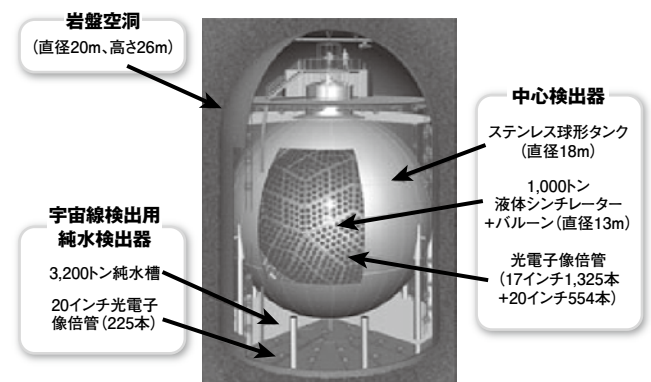


図1. KamLANDの構造の概略

て研究を進めていましたが、東北大学もこの研究に参加していました。その後1996年に、より巨大な（純粋水約50,000トン）スーパーカミオカンデが完成したため、カミオカンデはその役割を終えました。

「スーパーカミオカンデにはさまざまな大学や研究機関が参加していますが、東北大学は独自の研究を推進したいと考えていましたので、カミオカンデの跡地にKamLANDという新しい実験施設を造りました。KamLANDは規模こそカミオカンデと同程度なのですが、液体には純粋水ではなく液体シンチレーターという精製されたオイルの混合物を使っています。純粋水を使った場合、原子炉ニュートリノなどエネルギーが低いニュートリノの観測は困難です。液体シンチレーターであれば、原子炉ニュートリノや地球ニュートリノなどの反電子ニュートリノが引き起こす特別な反応への高い感度を有しています。KamLANDは液体シンチレーターを使った世界最大の設備です（図1）」（井上氏）。

このKamLAND計画が進む中で、1998年、東北大学のニュートリノに関する研究組織は、ニュートリノ科学研究センターに改組・転換されました。

宇宙が物質のみで構成されていることを証明する新たなプロジェクトを発足

ニュートリノに関する研究を推進してきた東北大学では、新たな研究課題に取り組むため「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の探索」というプロジェクトを2011年より立ち上げることが決まりました。

「このプロジェクトは、なぜ宇宙には物質しかないのかということと、なぜニュートリノはごく軽い質量を持つのかという2つの謎を解き明かすことを目的としています。ニュートリノは素粒子ですが、反粒子（反ニュートリノ）というものもあり、

これは反物質を作るものです。反物質とは、物質と対になる存在で、物質は反物質と衝突すると消滅して、質量がエネルギーに変換されます。この反物質は実験ではごく少量作られたことがあるのですが、宇宙全体の自然界の中には存在しません。しかし、宇宙の起源であるビッグバンを検証すると、まずエネルギーが生じて、それから物質と反物質が作られたことになるはずなのです。従って物質があれば、それと同量の反物質があることになりますので、そこで衝突を繰り返せば、元のエネルギーだけが存在する状態に戻るはずなのに、実際にはそうなっていません。その理由については、いまだに解明されていないのです」

この2つの謎を解明する手掛かりとなる仮説が提唱されていて、長年にわたって議論されています。それは、電荷を持たないニュートリノは、反ニュートリノとニュートリノが同一であり、進行方向に対する回転の向きだけで区別されるというものです。この仮説を裏付けるためには、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊を発見することが必要であり、本プロジェクトはその現象を見つけるために、KamLANDで質量数136のキセノン*同位体の二重ベータ崩壊を観察するものです。

通常二重ベータ崩壊では、不安定な原子核が崩壊し、電子と反ニュートリノが2個ずつ放出されます。しかし、反ニュートリノとニュートリノが同一であれば、2つの反ニュートリノ同士が打ち消し合い、反ニュートリノが発生しない現象が起こり得ます。この現象を発見できれば、ニュートリノと反ニュートリノの同一性を実証することになり、その頻度からニュートリノの質量も計算できるようになります。そして、反粒子が粒子に変わり得ることが分かり、粒子と反粒子の数量の比が変化することが説明できるため、初期の宇宙で物質が残り、反物質が減少していった「物質・反物質の非対称性」発現の機構を究明できるのです。

*キセノン:原子番号54の元素で、希ガス元素の1つ。9種の同位体を持つ。

膨大な研究データを素早く処理するために ITインフラの刷新を検討

新しいプロジェクトでは、1日当たり約800GBもの観測データが蓄積されます。二重ベータ崩壊を見つけるためには、このデータをすべて詳細に分析する必要があります。そのためには、従来のシステムでは、パフォーマンス的な課題があったと井上氏は言います。

「わたしは1998年からニュートリノ科学研究センターの

ITシステムを担当していました。当初はワークステーションを活用するという方向性でITシステムを整備していましたが、大量のデータを蓄積し続けるシステムにはワークステーションではパフォーマンスに限界がありました。そのため高い性能を保持するサーバーと階層型のストレージで大量のデータを管理し、計算用のマシンとしてワークステーションを活用するスタイルを基本としていました。この構成をベースに、随時新しいものを取り入れることにより、常に高いパフォーマンスのシステムを求めてきました」

このような変遷を経て、同研究センターでは2006年にはIBM pSeriesをメインのサーバーとしたシステムを導入しました。このシステムは順調に稼働していましたが、幾つかの課題が見いだされてきました。

「pSeriesサーバーそのもののパフォーマンスには大変満足していたのですが、システム全体としては幾つかの課題を抱えていました。その最大のは計算用のサーバーからデータ・サーバーへのアクセスが集中した際のパフォーマンスの劣化です。これはネットワークの負荷や分散システムへのファイル・システムの組み込み方などのさまざまな問題によるものだと思います。2つ目として、増え続けるデータに対して記憶容量をいかに大きくできるかということも常に課題になっていました。さらに3つ目の課題として、解析プログラムの更新に伴う処理作業量の増大にも対応しなければなりません。最後に、解析プログラムは自前で作成しているものですが、常に改良を加えています。そして改良した際には、その都度過去のデータにさかのぼって処理し直さなければなりません。そうした場合、1日分のデータを何分で処理できるかということが重要になります。つまり研究内容の進化に伴い、年々システムの性能に対する要求が高まっているということも課題となっていたのです。こうした課題については、新しい研究プロジェクトが開始されることが決まったことで、その解決の必要性がより高まってきました。そこで、ITインフラの刷新の検討を開始しました」(井上氏)。

集中アクセスに対する高速処理を実現する 分散ファイル・システムGPFSを導入

新しいシステムの導入に当たっては、複数のベンダーから提案がありました。そうした中、アイティークルーによる強力な支援の下、日本IBMから、分散共有ファイル・システムGPFSの活用により集中アクセスに対する高速処理を

実現するという画期的なソリューションが提案されました。

GPFS は、複数 GPFS サーバーからなるクラスター構成を取り、1つのファイルを複数のサーバー・ディスクに分散配置しますので、並列読み書きにより高速 IO が実現でき、同時読み書きが可能になります。また処理能力はサーバーの台数およびストレージの数を増やすだけで増強可能です。

観測データを蓄積するストレージとしては、ストリーミング入出力に最適なハイパフォーマンス・コンピューティング向けの System Storage DCS9900 を組み込み、大量のデータ蓄積に対応できるように配慮しました。

さらに新システムの計算用サーバーとしては、IBM System x iDataPlex が提案されました。System x iDataPlex は、高密度設計により高い処理能力を省スペースに収め、低消費電力を実現します。

これらの提案に対する評価ポイントについて、井上氏は以下のように説明します。

「パフォーマンス面では、GPFS を導入することにより期待されるパフォーマンスに対して高い評価をしました。サーバーの計算速度や記憶容量に関するわたしたちのニーズを満たすためにはスペックの高いマシンを用意すればいいのですが、集中アクセスへの対策はそれほど簡単ではなく、特別な仕組みが必要だと考えていました。そこで提案された GPFS は、まさにそのニーズを満たすものだと思います。さらにそうした最先端の技術を導入することは、学生に対する教育環境が整備されるということも評価点としては大きかったですね。また今回のシステム更改に当たっては、これまで蓄積してきた膨大なデータを新しいシステムに移す作業が必要だったのですが、日本 IBM から提案された移行計画が一番現実味があったのではないのでしょうか。もちろん最終的な判断は正式な手続きを経て日本 IBM を選択したため、これらの評価が判断結果に影響を及ぼしたわけではないのですが、以前より IBM のマシンを活用している経験から、IBM の運用に対する信頼感は抱いていたので、この結果は運用面からも安心できる材料となりました」

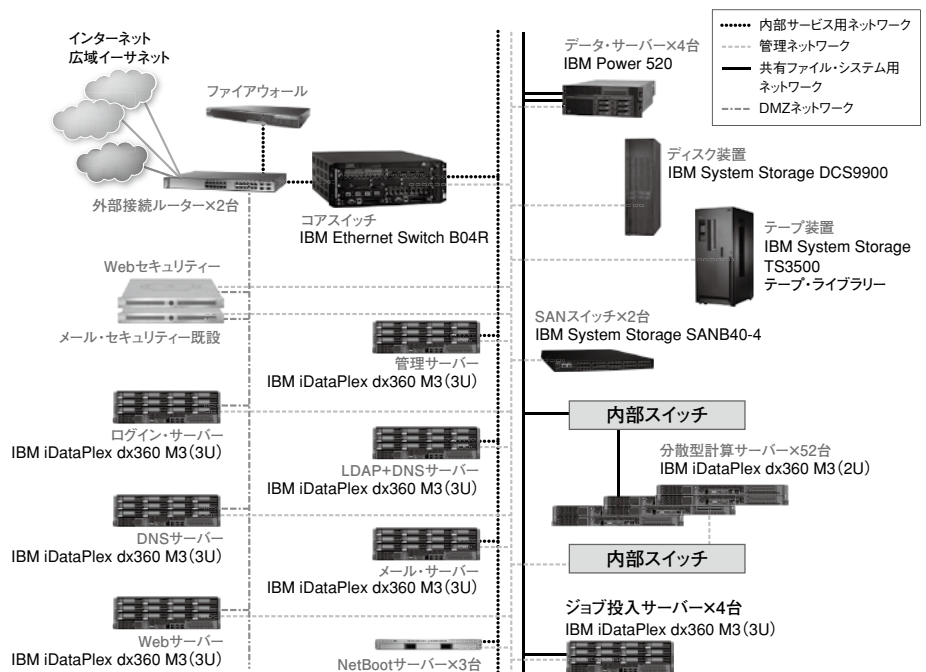
従来のシステムに比べて 17倍以上の処理速度を実現

新しく採用されたシステムは、計算用サーバーである 52 台の System x iDataPlex とデータ保存のためのストレージである System Storage DCS9900、およびその両者間を仲介し、高速アクセスを実現する GPFS サーバーとしての役割を果たす 4 台のデータ・サーバー (IBM Power 520) を中心とした構成となっています (図 2)。

新システムは 2010 年 9 月より構築作業が始まり、翌年 2 月から運用が開始されました。

「実際に新しいシステムを稼働させるに当たって、600 コアほどのプロセスによるアクセスをテストしてみましたが、ほとんど性能が劣化しなかったことには驚きました」(井上氏)。

新システムでは、高並列処理を行うことにより、200GB の大量データをわずか 1.4 分で 1 度に処理することが可能です。従来のシステムでは約 24.6 分を要していたので、実に 17 倍以上のデータ処理速度を実現していることになります。この性能は、1 事象当たり約 100KB のニュートリノ観測データを平均 42 マイクロ秒で処理できることを意味しますので、1日に蓄積される約 800GB のデータは、6 分程度で処理できるようになるのです。



ニュートリノ科学研究センター内部では、内部サービス用ネットワーク、管理用ネットワーク、DMZ (DeMilitaryzed Zone) ネットワーク、共有ファイル・システム用ネットワークから構成。

図2. 新システムの構成

ニュートリノ研究の継続のために施された さまざまな視点での安全対策

このように独自の研究を展開するために、新しいシステム環境を構築してきた東北大学ですが、安全確保のため、あるいは研究環境維持のために、以前よりさまざまな安全対策を施してきました。

「当然ながら、避難訓練や消火訓練については、仙台と神岡で定期的に行っていましたが、それ以外に仙台のニュートリノ科学研究センターの建物については、2010年に耐震補強工事を行いました。その際地震を感知する警報装置なども設置しています。また神岡では、誰がどこにいるのかという所在確認の仕組みを備えています。さらに地下から脱出するための出口を複数設置しているほか、万が一地下に閉じ込められた場合、一定期間は生存できる設備も整えてあります」(井上氏)。

こうした人や設備の安全確保の対策以外に、ITシステムのデータのバックアップ対策も講じてきました。

「KamLANDでは、膨大な量の観測データが日々蓄積されています。こうしたデータは、非常に重要になりますので、ニュートリノ科学研究センターでは、そうしたデータを米国の政府が運用しているデータセンターにも保存しています。またネットワークについても多重化を図っていますが、これはパフォーマンス対策も兼ねています。さらに仙台のデータセンターのシステムについてもバックアップを取るなどの対策は施していました」(井上氏)。

また神岡のKamLAND側システムでは、10日分ほどのデータを保管できる仕組みが整っていました。今回の大震災で仙台のシステムは本格稼働までには数日を要しましたが、神岡のシステムに保管されていたデータを使うことで、その期間の観測データの解析も問題なく行うことができました。

今後もさらなる震災対策を施し、 大きな成果を期待して研究を継続

東北大学の新システムは2011年2月に稼働を開始。「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の探索」プロジェクトは、KamLANDの実験設備の設置完了を待つのみという状態になった矢先、東北大学は大震災に見舞われました。

このたびの震災の経験を踏まえた、今後の震災対策について井上氏は次のように語ります。

「これまで機器類の設置方法については、例えばボルトで固定するというような対策は施していませんでした。しかし、今回の場合は想定外の大きな地震であったことから、固定していなかったことで一定の『遊び』ができ、それが逆にマシンの無事につながった可能性があります。今後はそうしたことも考慮し、日本IBMやアイティークルーの方々とも相談させていただき、どのような設置方法が一番安全かということを検討していきたいと思っています。またますます節電の必要性も高まってきますので、その対策も考えていかなければいけません。さらに、ストレージについては節電に改善の余地がありますので、今後はその点についても改善されればありがたいと思います」

KamLANDの新しい観測設備も整い、新プロジェクトは5月24日から予定通りに開始されました。井上氏は今後の研究の展望について語ります。

「新システムは、期待通りのパフォーマンスを発揮していますので、今後の研究の進展に大きく役立つのではないかと期待しています。そして、何よりも大学としては、常に最新の研究環境を学生たちに提供できることの重要性を感じておりますので、今回の新システムはそれに応えるものができたと思っています。予定では、8月上旬からキセノンが入ったデータを採り始め、8月中旬から本格的な観測が開始されます。もしニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊を観測することができたとしたら、これは世界的にも驚くべき成果といえます。少なくとも2015年までは観測を続ける予定になっていますので、それまでに何かしらの発見が実現することを期待して研究を継続していきたいと思っています」

今回の震災を機に、東北大学のチャレンジは今後もより一層意欲的に継続されるでしょう。



ニュートリノ科学研究センターの学生たちに囲まれて