

I 学術情報ネットワークについて

1. 学術情報ネットワークとは	7
2. SINET4 の特徴	7
3. SINET4 のネットワーク構成	8
4. SINET4 のネットワーク・サービス	9
5. 学術情報ネットワークの運営体制	11

II 事例集 45件

【高エネルギー・核融合科学】 12

1.SINETで日欧連携を加速する国際核融合研究 13

〔概要〕日欧連携による国際熱核融合実験炉(ITER)計画の保管・支援及びにBA活動の展開
 〔機関〕核融合科学研究所、日本原子力研究開発機構
 〔サービス〕国際接続

2.ノーベル物理学賞「小林・益川理論」の検証に大きく貢献した「Belle実験」 17

〔概要〕実験で得られた大容量データをネットワークを介して共有、並行解析し、小林・益川理論を検証
 〔機関〕高エネルギー加速器研究機構、東北大、東工大、東大、名大、阪大及び世界各国50を超える研究機関
 〔サービス〕L3VPN、国際接続

3.ニュートリノ研究 20

〔概要〕太陽ニュートリノ精密観測、大気ニュートリノ・陽子崩壊観測等のデータ共有
 〔機関〕東京大学神岡素粒子研究施設、J-PARC、国内外の研究者
 〔サービス〕L2VPN/VPLS、L3VPN

4.アトラス(ATLAS)実験 23

〔概要〕CERNのLHC加速器から東京大学素粒子物理国際研究センターへデータを転送・解析
 〔機関〕東大、KEK、筑波大、早稲田大、東工大、首都大学東京、名大、京大、京都教育大、信州大、岡山大、広島工大、長崎総合科学大、CERN等
 〔サービス〕国際接続

5.格子QCDシミュレーションによるハドロン物理・素粒子標準模型の研究 27

〔概要〕格子QCDデータ共有システムによりネットワーク上でデータを共有利用
 〔機関〕筑波大学、高エネルギー加速器研究機構、京都大学、大阪大学、広島大学、金沢大学
 〔サービス〕L3VPN

6.未来のクリーンエネルギー源の安全な実用化を目指す核融合研究 31

〔概要〕大型ヘリカル実験遠隔参加、実験、データ解析およびシミュレーション等の遠隔研究参加
 〔機関〕核融合科学研究所、筑波大学、九州大学
 〔サービス〕L2VPN/VPLS、L3VPN

7.レーザー電子光を用いてハドロンの性質を研究するLEPS実験 35

〔概要〕レーザー電子光実験施設「LEPS」で生成される大量の実験データを収集・転送・解析
 〔機関〕大阪大学、高輝度光科学研究センター
 〔サービス〕L3VPN

【宇宙科学・天文学】 38

8.アルマ望遠鏡プロジェクトとSINET 39

〔概要〕アルマ望遠鏡からの観測データを用いた「銀河の起源」「惑星系の誕生」「生命へつながる分子」の研究
 〔機関〕国立天文台
 〔サービス〕国際接続

9.L1オンデマンドサービスを利用した光結合VLBI観測	43
〔概要〕電波望遠鏡を相互接続し、実時間・高感度での電波干渉計観測を実施 〔機関〕国立天文台、北海道大学、山口大学、核融合科学研究所、高エネルギー加速器研究機構 〔サービス〕L1オンデマンド	
10.太陽観測衛星「ひので」による太陽研究	46
〔概要〕「ひので」衛星データを共用し、コロナ加熱のメカニズムを研究 〔機関〕宇宙科学研究本部、国立天文台、太陽物理学の世界の研究者 〔サービス〕L1VPN	
11.銀河系の3次元立体地図を作る「VERA」プロジェクト	50
〔概要〕国内の観測局を相互接続(直径2300kmの電波望遠鏡と同等性能を実現)し、観測データを解析 〔機関〕鹿児島大学、国立天文台 〔サービス〕L2VPN/VPLS	
【環境・気象・地球科学・遺伝学】	54
12.遺伝子情報の大容量化を支える計算機ネットワーク	55
〔概要〕塩基配列データベース「DDBJ」とスパコンを利用した計算機サービスによる遺伝子解析 〔機関〕国立遺伝学研究所 〔サービス〕IP Dual、国際接続	
13.衛星データの受信・処理・アーカイブおよびデータ配布	58
〔概要〕気象衛星「ひまわり」をはじめとする各種衛星の観測データを受信、アーカイブ、配布 〔機関〕千葉大学(環境リモートセンシング研究センター) 〔サービス〕IP Dual	
14.全国地震観測データ流通ネットワーク「JDXnet」の構築・運用	61
〔概要〕地震観測波形データを全国大学等にリアルタイムで流通 〔機関〕東大、北大、弘前大、東北大、京都大、名大、広島大、九大、長崎大、海洋研究開発機構 〔サービス〕L2VPN/VPLS	
15.VLBI観測による超大容量観測データの国際共有	64
〔概要〕世界各地の観測局と接続、e-VLBIを支える基幹ネットワークとして活用 〔機関〕国土地理院、世界各地の観測局 〔サービス〕国際接続	
【遠隔授業・コミュニケーション】	67
16.京阪奈三教育大学における双方向遠隔講義システム	68
〔概要〕京都・大阪・奈良の3教育大学を結び、HD画質対応のシステムを用いた双方向遠隔授業の実施 〔機関〕京都教育大学、奈良教育大学、大阪教育大学 〔サービス〕L2VPN/VPLS	
17.胎児心スクリーニング普及に向けたハイビジョン遠隔講座	71
〔概要〕胎児の心臓の動きをSINETを利用して高精細動画で送受信 〔機関〕神奈川県立こども医療センター 〔サービス〕IP Dual	
18.ハイビジョン双方向遠隔授業による医療福祉情報分野の人材育成とIPv6活用の取り組み	74
〔概要〕医工連携プロジェクトの一環として、ハイビジョン双方向遠隔授業を実施 〔機関〕横浜国立大学、横浜市立大学 〔サービス〕IP Dual	
19.インターネットを利用した国際遠隔講義	77
〔概要〕SINETを利用した遠隔講義を海外の大学と連携して実施 〔機関〕琉球大学、慶応義塾大学、国連大学、ハワイ大学、南太平洋大学、タイアジア工科大学、サモア国立大学 〔サービス〕国際接続	

20.全国18連合農学研究科を結ぶ遠隔講義システム	80
〔概要〕連合農学研究科18大学を結ぶ多地点制御遠隔授業を実施 〔機関〕農工大、岩手大、弘前大、岐阜大、鳥取大、愛媛大、鹿児島大、佐賀大、宇都宮大、山形大、帯広畜産大等 〔サービス〕IP Dual	
21.北陸三県の国立大学を結ぶ双方向遠隔授業システム	83
〔概要〕北陸三県の国立大学間で、教養教育を中心とする双方向遠隔授業を実施 〔機関〕金沢大学、富山大学、福井大学、北陸先端科学技術大学院大学 〔サービス〕IP Dual	
22.特別支援教育における双方向遠隔授業	86
〔概要〕特別教育分野における双方向遠隔授業を実施 〔機関〕愛媛大学、鳥取大学 〔サービス〕L2VPN/VPLS	
23.同室感コミュニケーションシステム「t-Room」の研究	89
〔概要〕離れた人同士があたかも同じ部屋の中にいるような感覚を実現 〔機関〕同志社大学 〔サービス〕L1オンデマンド	
【地域活性・人材育成】	92
24.盛岡DCを活用し、学内インフラ強化及び地域の情報化を牽引	93
〔概要〕盛岡DC設置による可用性の強化と震災復興支援活動におけるネットワークの活用 〔機関〕岩手大学 〔サービス〕IP Dual	
25.先進的なITを活用した震災復興・地域活性化に向けた取り組み	96
〔概要〕高速ネットワークを基盤とした学内IT環境の整備と復興プロジェクトの支援 〔機関〕会津大学 〔サービス〕IP Dual	
26.「四国の知」の集積を基盤とした四国の地域づくりを担う人材育成	99
〔概要〕四国内8大学が連携し、地域づくりを担う人材育成を行うため、高速な情報通信インフラとして活用 〔機関〕香川大学、徳島大学、鳴門教育大学、愛媛大学、高知大学、四国大学、徳島文理大学、高知工科大学 〔サービス〕IP Dual	
【計算資源・実験施設等の遠隔利用】	102
27.X線自由電子レーザー施設「SACLA」とスパコン「京」の連携にSINETを活用	103
〔概要〕化学反応の過程の解明を目指して「SACLA」と「京」を密接に連携 〔機関〕理化学研究所、高輝度光科学研究センター 〔サービス〕IP Dual	
28.スパコン「地球シミュレータ」とSINETとの連携	107
〔概要〕スパコンでのシミュレーション結果をネットワーク経由で参照 〔機関〕海洋研究開発機構 〔サービス〕L2VPN/VPLS、IP Dual	
29.SINETを介した計算機資源等の提供、円滑なキャンパス移転	110
〔概要〕スパコンをはじめとする計算機資源、世界最高レベルのボードで作成した乱数等を提供 〔機関〕統計数理研究所 〔サービス〕L2VPN/VPLS、IP Dual	
30.遠隔操作によるX線解析強度データの測定—SPRING-8構造生物学ビームラインの現状—	113
〔概要〕構造生物学研究における、遠隔操作によるビームライン制御 〔機関〕高輝度光科学研究センター 〔サービス〕IP Dual	

31.触覚フィードバックを含む遠隔制御システム	117
〔概要〕豊橋技術科学大学一高専における遠隔制御の研究ネットワーク構築・運用・実験 〔機関〕豊橋技術科学大学、函館工業高等専門学校 〔サービス〕QoS	
32.研究コミュニティ形成のための資源連携技術に関する研究「RENKEIプロジェクト」	120
〔概要〕すべてのサイエンスの研究者が利用できる共通のデータ基盤を構築 〔機関〕東京工業大学 〔サービス〕L3VPN	
【遠隔医療】	124
33.学術ネットワークを活用した国際遠隔医療の推進	125
〔概要〕手術のライブデモンストレーションとカンファレンスを年間40～50回実施 〔機関〕九大、アジア各国の大学等 〔サービス〕IP Dual、L1オンデマンド	
34.日本およびアジア地域における胎児医療の発展に、SINETによる国際遠隔医療を活用	129
〔概要〕韓国、台湾、シンガポール、ベトナム、フィリピン、中国をネットワークで結び、アジア全体に胎児医療を拡大 〔機関〕国立成育医療研究センター 〔サービス〕L1オンデマンド	
【キャンパスネットワークの高度化】	132
35.大学業務を速やかに回復させるIT-BCP基幹システム	133
〔概要〕SINETを介して構築する「IT-BCP基幹システム」による大学間でのBCP強化の実施 〔機関〕宇都宮大学、横浜国立大学 〔サービス〕L2VPN/VPLS	
36.山形DCを活用した高度な分散キャンパスネットワーク環境の構築	136
〔概要〕分散キャンパスの特性を生かしてIPv6マルチホームや学認連携、サービス可用性を高める 〔機関〕山形大学 情報ネットワークセンター 〔サービス〕IP Dual、L2VPN/VPLS	
37.SINET L2VPNを利用した遠隔バックアップシステムの構築	139
〔概要〕大学の重要な情報資産を遠隔地へセキュアに高速転送、保管 〔機関〕静岡大学 情報基盤センター 〔サービス〕L2VPN/VPLS	
38.「kyo2 Cloud Center」の運用	143
〔概要〕基幹システムを商用データセンタに全面クラウド化、24時間365日稼働を実現 〔機関〕京都教育大学 情報処理センター 〔サービス〕L2VPN/VPLS	
39.対外接続にSINETを活用した全学情報ネットワーク基盤「UTnet」	147
〔概要〕安全・安心な大規模キャンパスネットワークを構築、運用 〔機関〕東京大学 情報基盤センター 〔サービス〕IP Dual	
40.SINET L2VPNを用いた商用クラウドメール接続	150
〔概要〕メールシステムに商用サービスを適用、コストを抑えつつ運用負荷を軽減 〔機関〕東京農工大学 総合情報メディアセンター 〔サービス〕L2VPN/VPLS	

41.キャンパスネットワーク「MEINET」でのL2VPN利用	153
〔概要〕 遠隔に所在するキャンパスをL2VPNにより一つのキャンパスLANに統合 〔機関〕 名城大学 〔サービス〕 L2VPN/VPLS	
42.キャンパスネットワーク(HINET2007)におけるWeb認証システムの構築・運用	155
〔概要〕 UPKIイニシアティブのサーバ証明書プロジェクトを採用し、国内最大級のWeb認証環境を実現 〔機関〕 広島大学 〔サービス〕 IP Dual	
43.筑波キャンパスと東京キャンパスをL2VPNで接続	158
〔概要〕 遠隔に所在するキャンパスをL2VPNにより一つのキャンパスLANに統合 〔機関〕 筑波大学 〔サービス〕 L2VPN/VPLS	
【ネットワーク研究】	161
44.L1オンデマンドサービスを利用して実施したiSCSI-APTの性能評価	162
〔概要〕 SINET3の特徴(広帯域・高品質)を生かし、大量データ伝送の高速伝送を研究 〔機関〕 大阪大学、北海道大学、九州大学 〔サービス〕 L1オンデマンド	
45.フルルート提供サービスを利用した広域負荷分散実験	165
〔概要〕 夏の全国高校野球大会のオンライン中継を素材にした広域分散配信システムを検討 〔機関〕 九州大学、九州産業大学 〔サービス〕 フルルート	

I 学術情報ネットワークについて

1. 学術情報ネットワークとは

学術情報ネットワークは、日本全国の大学、研究機関等における学術研究、教育活動全般を支える学術情報基盤である。加入機関は 700 機関以上、利用者は研究者、学生を中心に約 200 万人に上り、学術コミュニティに不可欠な情報ライフラインとなっている。

また、高エネルギー・核融合科学、宇宙・天文学、地球科学等の先端的学術研究連携に欠くことのできない最先端のネットワーク基盤を提供している。

さらに、Internet2 や GEANT、TEIN4 等を介して海外の研究教育ネットワーク (NREN) と相互接続しており、国際研究連携の基盤にもなっている。

平成 23 年 4 月から、従来の SINET3 を構造変更し、さらなるネットワークの高速化、高安定化を実現した SINET4 (サイネット・フォー) の運用を開始した。SINET4 は、国立情報学研究所が大学等と連携して推進している「最先端学術情報基盤 (CSI: Cyber Science Infrastructure)」構想の中核に位置付けられている。

2. SINET4 の特徴

1) ネットワークの高速化

- ・コア回線は、40Gbps を基本とし、エッジ回線は 2.4Gbps ~ 40Gbps で構成
- ・アクセス回線 (拠点機関) は、ダークファイバ+ WDM (波長多重装置) 技術等により、最大 40Gbps まで経済的かつ柔軟な高速化が可能

2) ネットワークの信頼性向上

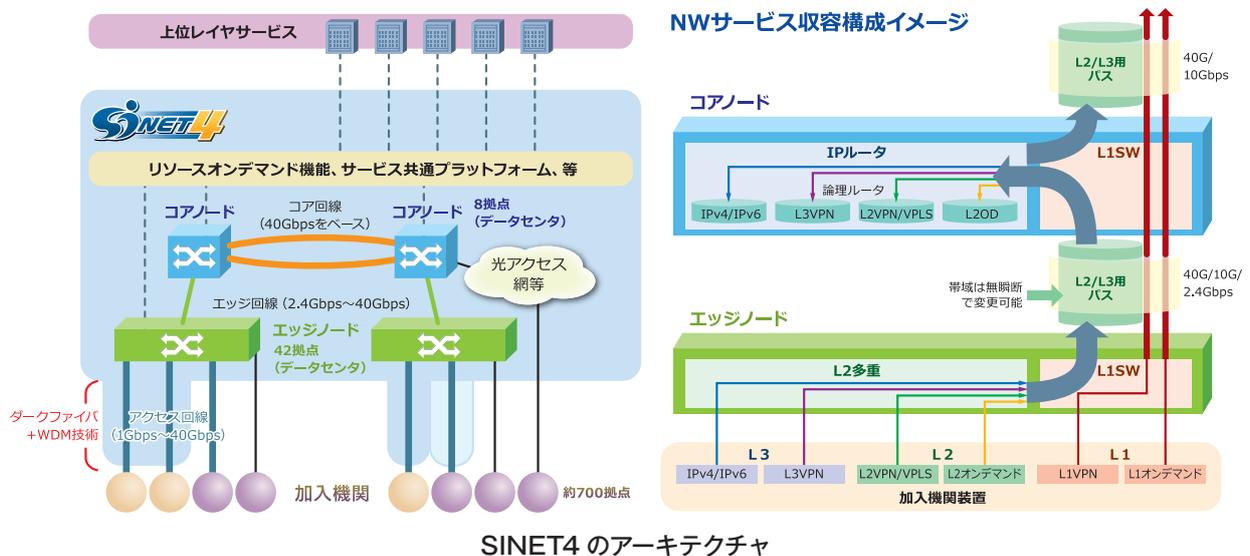
- ・コア回線、エッジ回線の完全冗長化及びコア回線の迂回路強化を図るとともに、すべてのノード (8 コアノード、42 エッジノード) を通信事業者のデータセンタへ設置することで、災害や障害に強く信頼性の高いネットワーク構成を実現

3) 多様なネットワークサービス

- ・マルチレイヤサービス、マルチ VPN サービス、マルチ QoS サービス、リソースオンデマンドサービス等、先進的なネットワークサービスの充実・強化

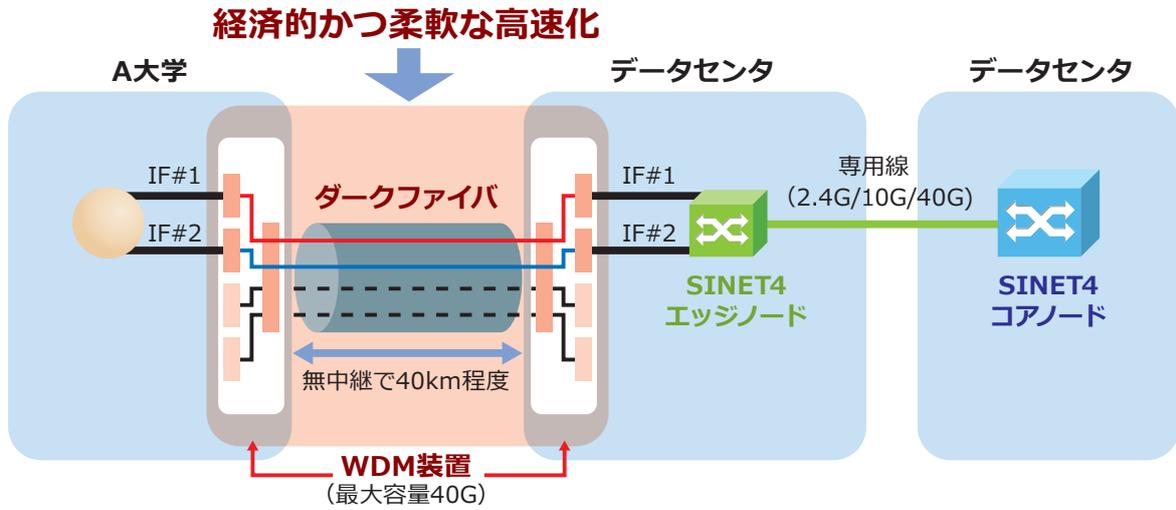
4) SINET を介したプライベートクラウド環境の提供

- ・上位レイヤサービスのセキュアな利用のために、クラウド提供事業者が SINET に直接接続してサービスを提供できる枠組みを用意

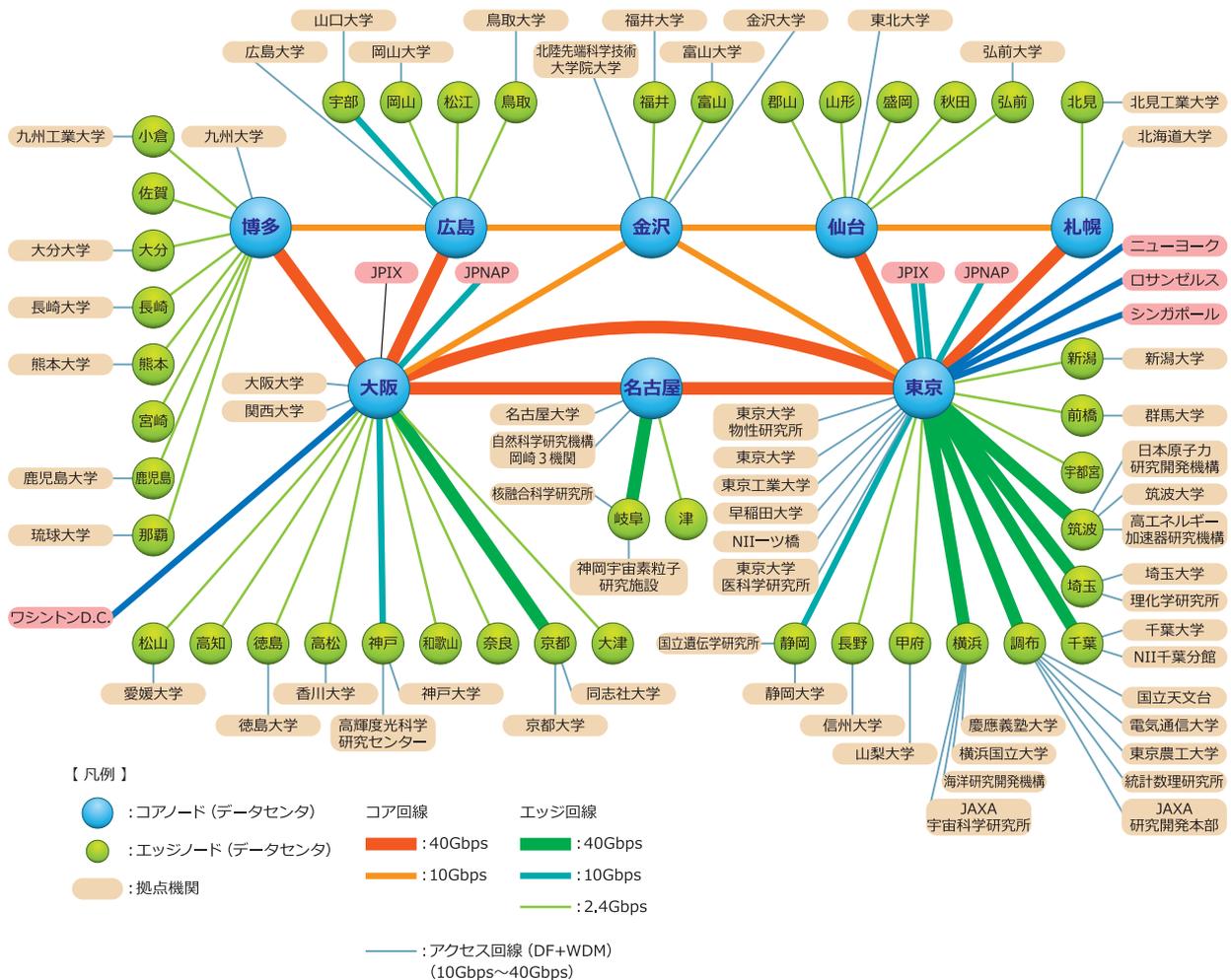


3. SINET4 のネットワーク構成

SINET4 は、SINET3 の基本的なアーキテクチャは踏襲しつつ、エッジノードをノード校から民間のデータセンタへ変更することで、より災害や障害に強く信頼性の高いネットワークを実現している。また、拠点機関向けアクセス回線には、ダークファイバ+ WDM 技術を採用することで、経済的かつ柔軟な高速化を可能とした。

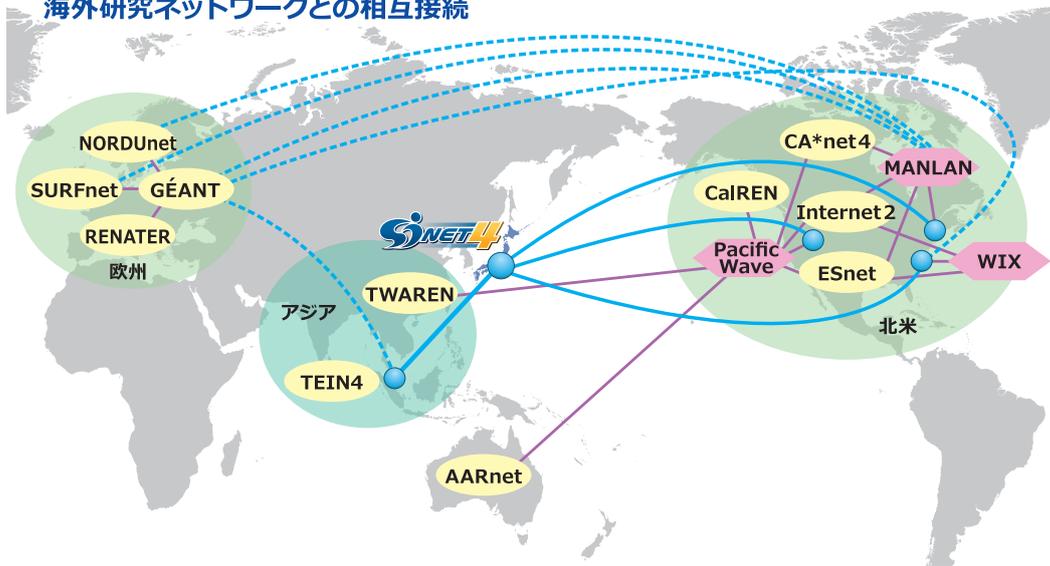


ダークファイバ+WDM 技術による経済的な高速回線の実現



SINET4 ネットワーク構成

海外研究ネットワークとの相互接続



SINET4 国際接続

4. SINET4 のネットワークサービス

SINET4 では、SINET3 のすべてのサービスを継承するとともに、リソースオンデマンド機能等を強化している。

1) マルチレイヤサービス-3つのネットワーク階層から自由に選択-

SINET4 では、ネットワーク階層に応じたサービスを提供している。各階層におけるサービスは次のとおり。

レイヤ3 (L3) :IP ネットワーク

レイヤ2 (L2) :広域 LAN 間接続

レイヤ1 (L1) :専用線

利用者は、目的や用途に応じてこれらの中から自由にサービスを選択できる。サービスの種類は以下のとおり。

SINET4 の提供サービス (ネットワークレイヤ及びサービス品質による分類)

品質保証	高優先	ベストエフォート	レイヤ3 (IP)	レイヤ2 (Ethernet)	レイヤ1 (波長/専用線)
品質保証					<ul style="list-style-type: none"> オンデマンド 帯域指定L1VPN 波長L1VPN
	<ul style="list-style-type: none"> L3VPN(QoS) マルチキャスト(QoS) アプリケーション毎QoS 			<ul style="list-style-type: none"> オンデマンド VPLS(QoS) L2VPN(QoS) 	
		<ul style="list-style-type: none"> L3VPN マルチキャスト マルチホーミング IPv4 IPv6 		<ul style="list-style-type: none"> オンデマンド VPLS L2VPN 	

SINET4 の提供サービスメニュー一覧

サービスメニュー		SINET4
提供インタフェース	E/FE/GE (T)	○
	GE (LX)	○
	10GE (LR)	○
L3サービス	インターネット接続	○
	IPv6	○
	マルチホーミング	○
	フルルート提供	○
	IPマルチキャスト	○
	L3VPN	○
	アプリケーション毎QoS	○
	IPマルチキャスト (QoS)	○
L2サービス		
L3VPN (QoS)	○	
高速ファイル転送ソフト	トライアル中	
L2VPN/VPLS	○	
L2VPN/VPLS (QoS)	○	
L2オンデマンド	トライアル中	
L1サービス		
L1オンデマンド	○	
ユーザ支援/情報提供サービス		
商用クラウド接続	○	
パフォーマンス計測/改善	○	
トラフィック利用状況	○	
SINET4利用ポータル	準備中	

SINET4 の提供サービス

2) マルチ VPN サービス-共有ネットワーク上で仮想プライベート網を構築-

先端技術の研究開発等を複数の研究機関の連携によって推進するためには、研究拠点間の閉域性を確保したセキュアな通信環境を実現するネットワーク機能が重要である。

SINET4 では、任意のVPN(Virtual Private Network: 仮想プライベート網)がすべてのレイヤ (L3 ~ L1) で可能となっている。

3) マルチ QoS サービス—高品質なネットワークの提供—

SINET4 では、音声、映像、データ転送等を扱うアプリケーションに対して、通信の特性に応じたクラス分けをし、優先順位を付けて転送する QoS(Quality of Service) サービスを提供している。

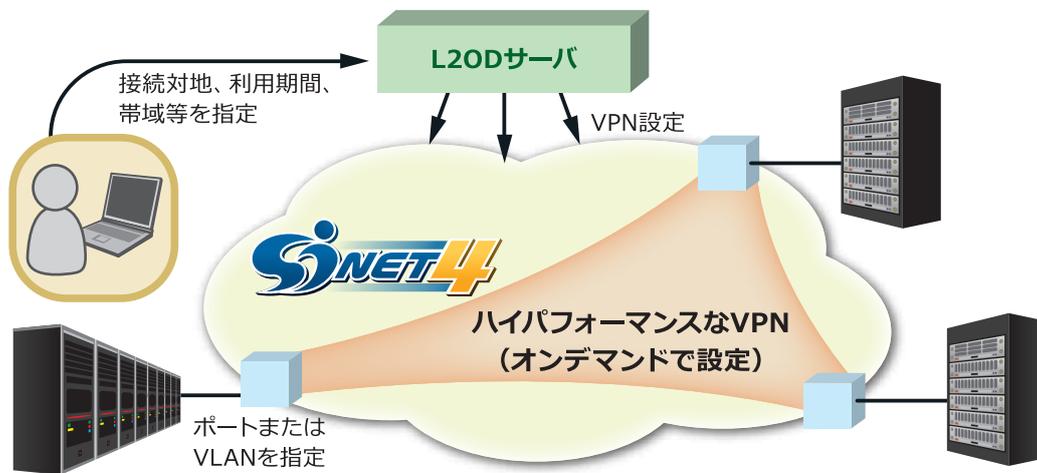
4) ネットワーク情報提供サービス

SINET4 利用者に対して、パフォーマンス計測（スループット、RTT）サービスの提供、セキュリティ情報の提供を行っている。

5) リソースオンデマンドサービス—必要な時に必要な分だけ帯域を予約—

ネットワーク資源（リソース）を、利用者の要求に応じて（オンデマンド）提供する機能である。通常は共用されている通信回線等のネットワーク資源を、必要に応じて専用に割り当てることにより、多様化し続ける学術研究のニーズに対して柔軟に対応できる。

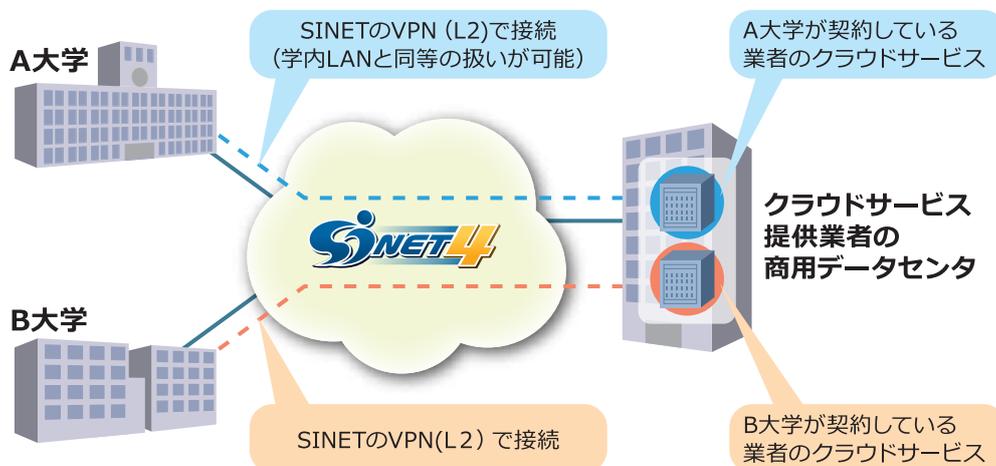
SINET4 では、L1 オンデマンドサービスに加え、L2 オンデマンドサービスの提供も予定している。



L2 オンデマンドサービスの概要

6) SINET を介したプライベートクラウド環境の提供

クラウドサービス（メール、ストレージ、リモートアクセス等）を提供する事業者が、SINET に直接接続可能な枠組みを用意している。これにより、SINET 加入機関は、セキュアなプライベートクラウドをより安価に構築しサービスを受けることが可能となっている。

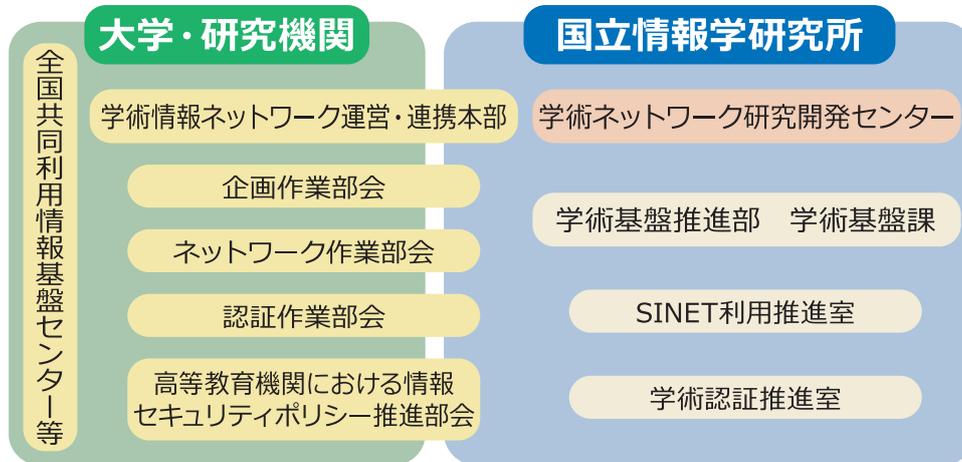


クラウドサービスの提供概要

5. 学術情報ネットワークの運営体制

1) 学術情報ネットワーク運営・連携本部

学術情報ネットワークの運営は、大学・研究機関と国立情報学研究所との共同組織である学術情報ネットワーク運営・連携本部のもと、大学・研究機関の全国共同利用情報基盤センター等と国立情報学研究所の学術ネットワーク研究開発センターとの連携・協力により行われている。



2) SINET利用推進室

学術情報ネットワークの利用を促進するため、平成 19 年 10 月に設置された。ネットワークの高度な利活用のためのコンサルティング、利用者支援、ネットワークサービスの教育・普及、啓蒙活動等の業務を行っている。



3) 学術情報基盤オープンフォーラム

学術研究・教育活動の発展・成長を支える最先端学術情報基盤を強化するため、大学及び研究機関の連携強化・情報交換の推進を図る枠組みとして、平成 21 年 6 月に発足した。

学術情報基盤に関する情報交換・技術交流、SINET4 用アクセス回線の共同調達、商用クラウド接続環境の整備を実施し、学術認証基盤、グリッド基盤やクラウド活用等による上位レイヤサービスの展開の検討を進めている。

II 事例集

【高エネルギー・核融合科学】

1. SINET で日欧連携を加速する国際核融合研究
(核融合科学研究所、日本原子力研究開発機構)
2. ノーベル物理学賞「小林・益川理論」の検証に大きく貢献した「Belle 実験」
(高エネルギー加速器研究機構)
3. ニュートリノ研究
(東京大学 宇宙線研究所附属神岡素粒子研究施設)
4. アトラス (ATLAS) 実験
(東京大学 素粒子物理国際研究センター)
5. 格子 QCD シミュレーションによるハドロン物理・素粒子標準模型の研究
(筑波大学 計算科学研究センター)
6. 未来のクリーンエネルギー源の安全な実用化を目指す核融合研究
(核融合科学研究所)
7. レーザー電子光を用いてハドロンの性質を研究する LEPS 実験
(大阪大学 核物理研究センター)

1. SINETで日欧連携を加速する国際核融合研究 核融合科学研究所、日本原子力研究開発機構

独立行政法人 日本原子力研究開発機構では、国際熱核融合実験炉 (ITER) 計画の補完・支援、並びに原型炉に必要な技術基盤の確立を目指す「幅広いアプローチ (BA) 活動」を展開しています。今回はその活動の一つである「国際核融合エネルギー研究センター (IFERC)」の概要と SINET が果たす役割について、大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授 兼 幅広いアプローチ活動 IFERC 事業長 中島 徳嘉氏と、日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 研究主席 小関 隆久氏にお話を伺いました。

(インタビュー実施:2013年11月8日)

まず「幅広いアプローチ (BA) 活動」の内容と目的について教えてください。

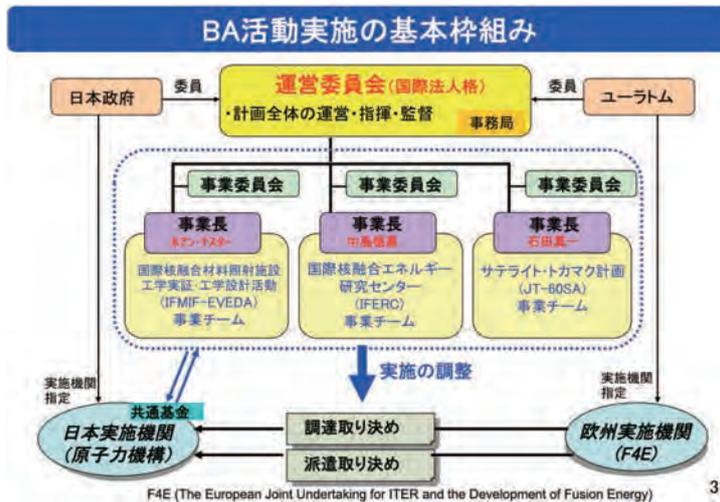


小関氏: 次世代エネルギーとして期待を集めている核融合には、燃料となる重水素を海水から取り出すことができるため地球上にほぼ無尽蔵に存在すること、燃料供給を止めれば直に核融合反応が停止するなど原理的な安全性があることなど、多くのメリットが備わっています。現在フランスのサン・ポール・レ・デュランス (カダラッシュ) では、日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インドの7極による国際熱核融合実験炉「ITER」の建設が行われており、この核融合エネルギーの実現に向けた国際的な取り組みが進んでいます。ところがITERによる実験が成功すれば、すぐに発電ができるわけではありません。ITERは持続的な核融合燃焼の実証研究を行うための施設であり、核融合エネルギーとして取り出すための工学的課題や、長年の使用に耐える材料の開発や、効率よくエネルギーを作り出せるプラズマの開発などが必要であり、

実際に核融合発電を行うためには、発電実証を行う原型炉を作り上げて技術面や経済面での実現性も探っていく必要があります。そこで ITER 計画の支援を行うと同時に、原型炉を見据えた核融合研究開発や様々な技術基盤の構築を行うためのプロジェクトが BA 活動なのです。

BA 活動は日本と欧州の共同プロジェクトであり、私の所属する日本原子力研究開発機構が日本側の実施機関となっています。また、日欧の委員で構成される運営委員会の元で「国際核融合材料照射施設工学実証・工学設計活動事業 (IFMIF-EVEDA)」「国際核融合エネルギー研究センター事業 (IFERC)」「サテライト・トカマク計画事業 (JT-60SA)」の3つの事業が行われています。





BA 活動

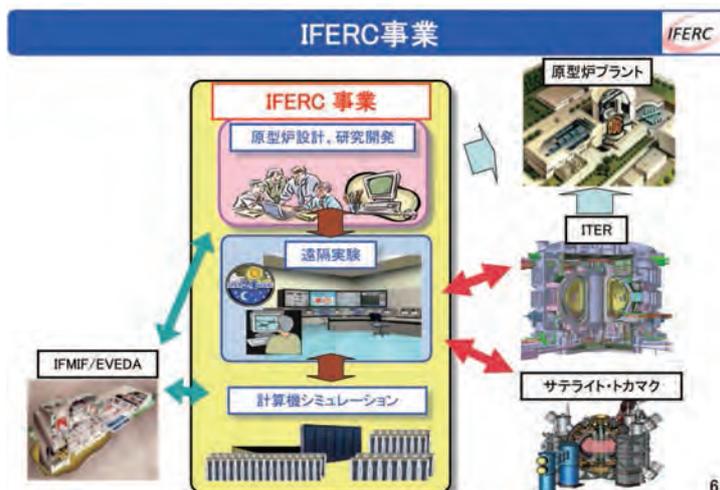
「日本原子力研究開発機構提供」

ITER だけではできないことを補完し、原型炉に必要な技術基盤を確立するのが BA 活動というわけですね。IFERC の具体的な活動内容についても伺いたいのですが。

中島氏: IFERC では、ここ青森県・六ヶ所サイトにおいて「原型炉設計・研究開発」、「計算機シミュレーション」、「ITER 遠隔実験」の3つの活動を副事業として行っています。「原型炉設計・研究開発」活動では、日欧で原型炉の概念設計と原型炉で用いる材料の研究開発を実施しています。原型炉では発電実証を行いますので、発電プラントとしてきちんと稼働できるレベルの設備でなくてはなりません。設計や材料開発においてクリアすべき課題はまだ存在しますので、日欧の研究者が共同で研究開発に取り組んでいます。「計算機シミュレーション」活動では、1.23PFLOPS の Linpack 性能を持つスパコン「Helios」を利用して、高温高压のプラズマを保持する上で問題となるイオン乱流輸送のシミュレーションなど、核融合研究に関わる様々な物理的・工学的シミュレーション研究を行っています。



「ITER 遠隔実験」活動は、フランスの ITER サイトと六ヶ所サイトを高速ネットワークで接続し、日本から ITER の遠隔実験を行うための準備です。いわば、ITER の制御室をそのまま日本へも持ってくるようなイメージですね。遠隔実験が開始された暁には、ITER 実験の条件設定やデータの収集・解析が日本にいながらに行えるようになると考えられます。



IFERC 事業

「日本原子力研究開発機構提供」

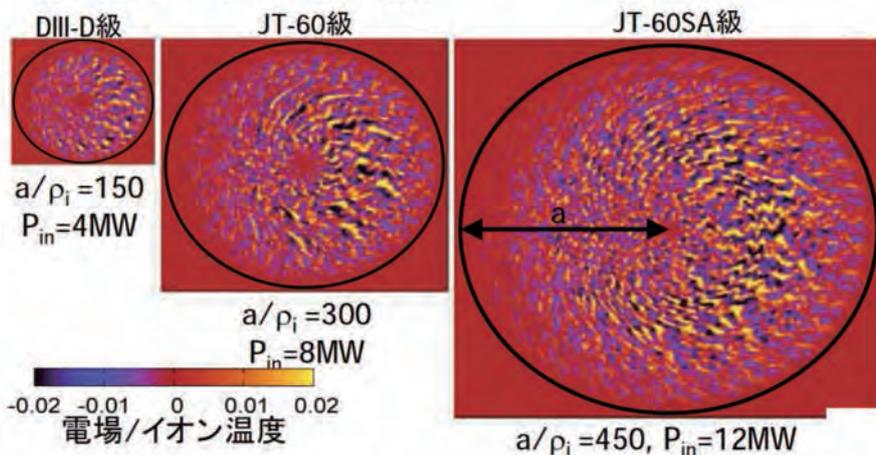
現時点における研究成果はいかがですか。

中島氏: それぞれの活動において様々な成果が挙がっています。「原型炉設計・研究開発」活動においては、以前は日欧の研究者がそれぞれのコンセプトに基づいて研究を進めていましたが、現在では日欧で支持される物理的・工学的な設計基盤が集約されつつあります。また、材料研究開発の面では先進中性子増倍材(ベリライド)の製造法等新しい技術が生み出されています。「計算機シミュレーション」活動では、日欧の大学や研究機関からの応募件数は年々増え続けており、2012年4月～11月の第一サイクルでは62件、2012年11月～2013年11月の第二サイクルでは82件、2013年11月～2014年11月の第三サイクルでは122件もの応募がありました。2013年10月までに110編を超える研究論文が生まれています。「ITER 遠隔実験」活動は、これからが本番ということになりますが、準備段階としていろいろな取り組みを行っています。例えば、ITER 以外に遠隔実験が可能な核融合研究装置として、BA 活動の一つである「サテライト・トカマク計画」で茨城県・那珂市に建設中の「JT-60SA」などがありますが、これらを対象に、ITER 遠隔実験に先立つ検証作業を行う予定です。遠隔実験に必要な知見を事前に積んでおけば、ITER 稼動後もスムーズに研究が行えますからね。



IFERC事業: 計算機シミュレーションセンターの成果

イオン乱流のシミュレーション結果



原子力機構井戸村・仲田による

スパコン「Helios」及び、計算機シミュレーションセンターの成果例
 「日本原子力研究開発機構提供」

SINET が果たしている役割についても教えてください。

中島氏:これは非常に大きいと言えます。先にも触れた通り、ITER 遠隔実験が開始されると大量のデータがフランスの ITER サイトと六ヶ所サイトを行き交うことになります。特に実験後のデータは膨大な容量になりますので、高速・高信頼度のネットワークインフラが無いと研究になりません。また、計算機シミュレーションについても事情は同じで、遠隔利用で高性能なスパコンの能力をフルに発揮させるためにはネットワークが不可欠です。そこを支えてくれているのが SINET というわけです。ちなみに、2012年1月から2013年11月までにシミュレーションで蓄積されたデータ容量は約 2PB に上ります。また SINET の回線についても約 400Mbps の帯域を使用していますが、これらの容量やトラフィックが今後さらに増大することは間違いありません。

小関氏:実は、BA 活動に向けた日欧の国際協議交渉のフェーズでも、SINET の存在が大きかったですね。今回のプロジェクトは日欧共同事業であり、費用もそれぞれで折半しています。当然、欧州側のユーザーとしては、六ヶ所サイトの研究資源を日本のユーザーと同じように利用できる環境を求めてきます。従って、ネットワークインフラの充実度がプロジェクトの開始に当たっては非常にクリティカルな問題だったのです。その点 SINET は、高速・高信頼な学術ネットワークとして世界的に知られていますから、「SINET を使う」と言えばすんなり納得してもらえました。これは非常に助かりましたね。



ITER サイト - 六ヶ所遠隔実験サイト
「日本原子力研究開発機構提供」

最後に今後の展望と SINET への期待を伺えますか。

小関氏:ITER 遠隔実験が本格的に開始されたら、広帯域なネットワークは現在にも増して重要な存在となります。特に ITER の実験で得られるデータは、関連する研究者はもちろんのこと、日本にとって大きな財産ですので、今後もぜひ高信頼で安定的なネットワーク環境を提供して頂ければと思います。

中島氏:ネットワークに関連する現在の大きな研究課題の一つに、大容量データをいかに効率的に転送するかという点があります。現在の欧州へのデータ転送手法にはまだまだ改善すべき点も多いので、日本からも新しい提案を行っていかねばと考えています。NII にもいろいろとご協力を頂いているところですが、ハード(ネットワーク)面だけでなくこうしたソフト面での支援にも是非協力を御願いしたいです。

ありがとうございました。

2. ノーベル物理学賞「小林・益川理論」の 検証に大きく貢献した「Belle実験」

高エネルギー加速器研究機構

高エネルギー加速器研究機構（以下、KEK）名誉教授の小林誠氏、京都産業大学理学部教授・京都大学名誉教授の益川敏英氏の両氏が、2008年のノーベル物理学賞を受賞される理由となった「小林・益川理論」。その検証に大きく貢献したのが、KEKで行われている「Belle実験」でした。KEK 素粒子原子核研究所 物理第一研究系 教授 片山 伸彦氏に、Belle 実験の概要と SINET が果たした役割について伺いました。

（インタビュー実施:2008年11月14日）

片山先生は長年 KEK の Belle 実験に携わられているそうですね。



片山氏: 以前はコーネル大学で粒子加速器を使った研究を行っていたのですが、10年ほど前に KEK の Belle 実験グループに参加しました。このプロジェクトが立ち上がったのは 1994 年で、小林・益川理論に基づいて予言された「B 中間子における CP 対称性の破れ」の検証を目的としていました。そのために、世界でも最高レベルの性能を誇る「KEKB 加速器」と、20 万チャンネルものセンサーを備えた「Belle 測定器」を建設し、1999 年より実験を開始しました。



上空から KEK を撮影した写真

その実験が小林・益川両先生のノーベル賞受賞にもつながったわけですが、「CP 対称性の破れ」とは具体的にどのようなことを指すのでしょうか。

片山氏: もともと、ビッグバンによって生まれた粒子と反粒子には、同じ物理法則が成り立つと考えられていました。ごく簡単に説明すると、電荷 (Charge) や空間 (Parity) は反転しているけれど、粒子の振る舞いとしては全く同等だと思われていたのです。ところが、1964 年に、K 中間子と呼ばれる粒子が崩壊する過程で、両者の振る舞いに違いがあることが発見されました。従来は、鏡に映った像のように対称だと思われていたものが、実際にはそうではなかったのです。これが「CP 対称性の破れ」と呼ばれている現象です。

当時の物理学界では、この現象を説明するための理論がいくつも提案されました。その中でも「クォークが 6 種類あれば、この現象がうまく説明できる」という予言を行ったのが小林・益川理論です。当時はまだ 3 種類のクォー

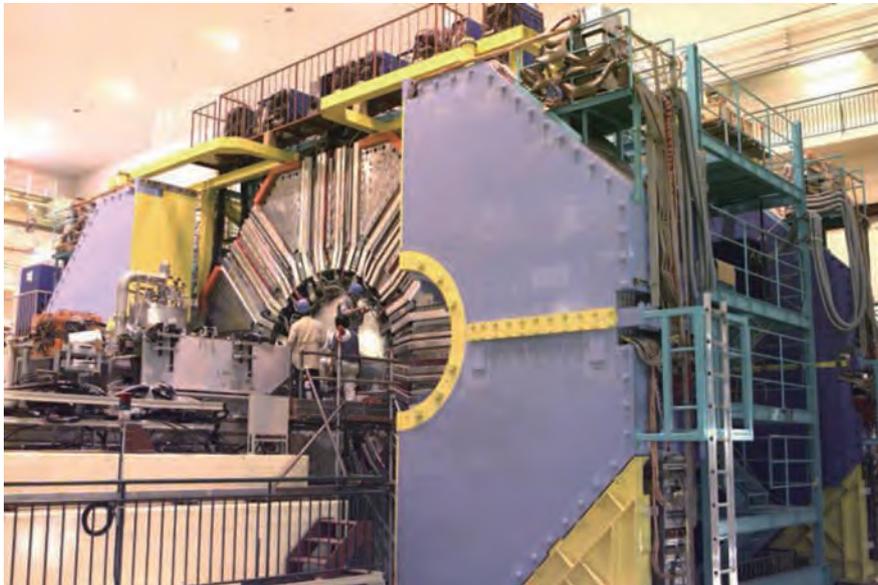
クしか見つかっていませんでしたので、とても画期的な提案だったと言えます。その後 90 年代半ばにかけて残りの 3 種類のクォークが発見され、小林・益川理論の前提条件が満たされました。

さらに、小林・益川理論に基づいて「2 番目に重いボトムクォークを含む B 中間子の崩壊過程でも、CP 対称性の破れが観測されるはずである」ということが予言されました。

それを確かめるために実験が始まったわけですね。

片山氏: その通りです。ただし、ここで一つ問題がありました。B 中間子の崩壊過程を実験で観測するためには、非常にたくさんの B 中間子を作る必要があります。しかし、当時最先端の加速器を利用しても、10 秒間に 1 個くらいしか作れなかったのです。小林・益川理論を確かめるためには、B 中間子を少なくとも従来の 100 倍くらい作らなくてはなりません。そこで KEKB 加速器や Belle 測定器の建設が始まったわけです。ちなみに、この実験が「B ファクトリー実験」と呼ばれるのも、「B 中間子をたくさん作るための工場」というところから来ています。

実験を開始してから 2 年後の 2001 年夏、KEKB 加速器と Belle 測定器による実験と、スタンフォード大学の同様の実験によって、B 中間子における大きな CP 対称性の破れを観測することに成功。これにより、小林・益川理論の検証に、重要な貢献を果たすことになりました。



Belle 測定器

KEKB 加速器や Belle 測定器も大規模な施設ですが、データを分析するためのシステムもかなり大がかりになりそうですね。

片山氏: KEKB 加速器の周長が 3km、光の速度が 30 万 km/秒ですから、電子と陽電子が交差する回数は一秒あたり 10 万回にも上ります。実験ではその中から興味を引くようなイベントを絞り込んでいきますが、それでも、一秒あたりに記録するイベントの数は 200 程度、一日あたりのデータ量は約 1TB にも達します。

そのデータを全部記録しておかれるのですか。

片山氏: 我々の研究のユニークなところは、昨日観測したデータも 8 年前に観測したデータもまったく価値に違いがなく、同じように解析に使えるという点です。このため、現在はハードディスクで約 1PB、テープで約 5PB のデータを蓄積しています。今後もデータ量はどんどん増えていくことになりますね。

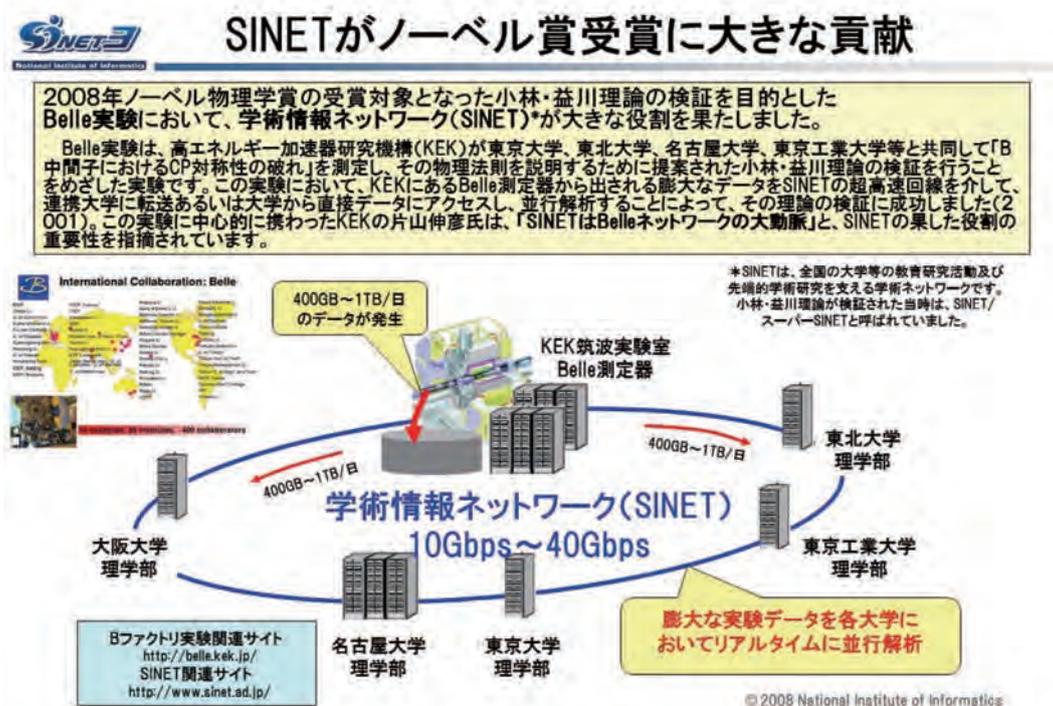
また、解析システムやストレージと並んで、重要な役割を果たしているのがネットワークです。Belle 測定器から出力されるデータは、KEK だけでなく他の大学でも並行して解析を行いますし、これとは逆に他の大学で作成したシミュレーションのデータを、KEK に持ってくる場合もあります。このため、大容量データを短時間でやりとりできる高速なネットワークが欠かせないのです。

その役割を SINET が担っているのですね。

片山氏: そういうことです。Belle 実験ではこれまでも SINET、スーパー SINET を利用しており、現在は SINET3 の L3VPN サービスを利用して、KEK と東北大・東京工業大・東京大・名古屋大・大阪大を結んでいます。また、共同研究を行っている国内各地の大学や、海外 14 カ国・約 40 カ所の大学・研究機関とも、SINET のネットワークを利用してデータをやりとりしています。つまり SINET は、Belle 実験を支えるネットワークの大動脈というわけです。

性能や信頼性についての評価はいかがですか。

片山氏: 国際会議の発表前など、ピーク時には容量が数十 TB に及ぶようなデータを送受信するケースもありますが、10Gbps ~ 40Gbps の帯域が確保されているおかげで、ネットワークに不満を感じるケースはまったくありません。昔は海外の研究機関にテープでデータを送ったりしていたことを考えれば、環境は非常に良くなったと感じています。信頼性も高く、障害で業務に支障がでるようなこともありません。研究には国際競争と国際協調の両面があるわけですが、そのどちらにおいても、SINET が提供する高速・大容量ネットワーク環境の持つ意義は大きいと言えます。



今後はどのように実験を進めて行かれるのですか。

片山氏: 小林・益川理論の検証という所期の目的は果たせたわけですが、その一方で新たな研究課題もいろいろと見つかっています。たとえば、今の世界ではどこを見渡しても粒子しか見当たりませんが、約137億年前、ビッグバンによって宇宙が創成された時には粒子と反粒子が同じ数だけあったはずなのです。今反粒子が消えてしまったのは、巨大なCP対称性の破れが起こったからだと思われれます。こうした現象をうまく説明するには、また別の理論が必要になります。新しい提案もいろいろと行われていますが、かつての小林・益川理論のような決定打はまだ存在しません。いわば、また新たな大航海時代に乗り出したようなものなのです。

このような状況下においては、実験が果たすべき役割がこれまでも増して重要になると考えています。そこで我々のグループでも、現在の実験設備の100倍の性能を持つ「スーパー KEKB」や「スーパー Belle」の建設を提案しています。将来的には、素粒子理論や物性の分野に続いて、実験分野でももっとノーベル賞を取りたいですね。

もちろん、データ量が100倍になるということは、ネットワークにもより高い性能・信頼性が求められるということです。それだけに、今後の SINET のサービスにも、大いに期待しています。

ありがとうございました。

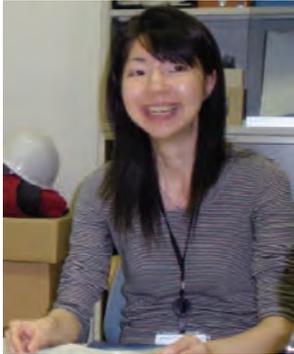
3. ニュートリノ研究

東京大学 宇宙線研究所附属神岡素粒子研究施設

ニュートリノ観測実験装置「スーパーカミオカンデ」で知られる東京大学 宇宙線研究所附属 神岡宇宙素粒子研究施設では、ニュートリノ研究に SINET3 を活用しています。最先端物理学研究におけるネットワークの重要性について、同研究所の竹内 康雄 准教授と広報担当の武長 祐美子 特任研究員にお話を伺いました。

(インタビュー実施:2008年6月23日,更新:2010年1月18日)

小柴昌俊先生のノーベル賞受賞で、一般にも広く知られるようになったニュートリノ研究ですが、あらためて神岡宇宙素粒子研究施設の概要と研究目的について教えてください。



武長氏: 当施設は全国共同利用の研究施設で、地下 1000m の坑内に国内最大、かつ世界有数の精密物理実験サイトを有しています。主な研究対象は、ニュートリノ観測や陽子崩壊探索を通じて、物質に働く力や宇宙の成り立ちについて解明することです。また、坑内は精密観測が可能な環境であるため、地球物理学に関する研究や、重力波検出のための研究開発なども行われています。

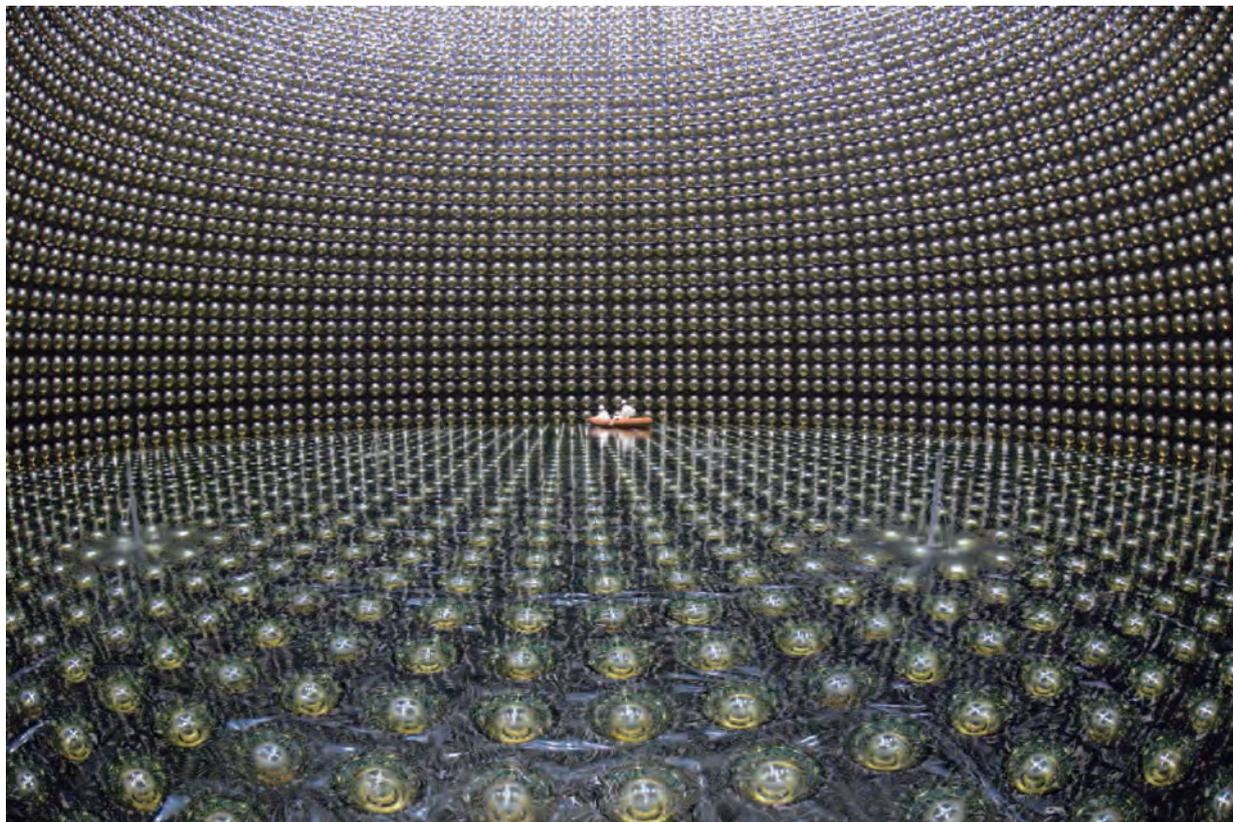
当施設のニュートリノ観測実験装置「スーパーカミオカンデ」は 1996 年 4 月より研究を開始し、ニュートリノ質量の発見 (1998 年)、太陽ニュートリノ振動の発見 (2001 年) など、様々な成果を挙げています。また、2009 年には、茨城県・東海村の J-PARC からスーパーカミオカンデへニュートリノビームを打ち込む「T2K 実験」が開始されました。2010 年からは、宇宙暗黒物質の探索などを目的とする低バックグラウンド検出器「XMASS」の観測も開始する予定です。

SINET はどのような形で利用されているのでしょうか。



竹内氏: 当施設内では、スーパーカミオカンデ実験を行うグループ以外にも、様々な大学の研究グループが設備や装置を置いて活動を行っています。SINET は、これらの各実験グループや研究機関の重要なネットワークインフラとして活用されています。

たとえば我々の場合は、東京大学・柏キャンパスに宇宙線研究所の本部がありますので、SINET3 の L3VPN サービスを利用して柏・神岡間を結ぶ VPN を構築しています。ちなみにこの VPN は、宇宙線研究所の関係者だけでなく、国内外の共同研究所が当施設の観測データにアクセスする際にも利用されています。また、電子メールや Web、IP-テレビ会議などといった、研究・観測目的以外の一般的な用途にも SINET が使われています。



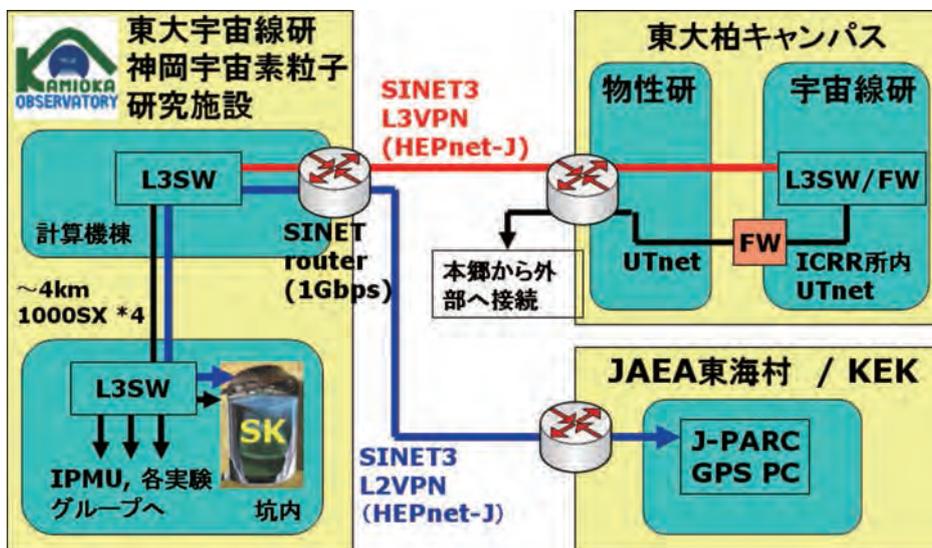
スーパーカミオカンデ内部の様子（現在は純水で満たされている）

© 東京大学 宇宙線研究所附属 神岡宇宙素粒子研究施設

現在までのネットワーク環境の変遷や、SINET を導入するに至った経緯について教えてください。

竹内氏：かつては神岡と宇宙線研究所本部の間を独自回線をつないでいたのですが、その頃は通信速度や安定性の確保が悩みのタネでした。2400bps のアナログモデムにはじまり、ISDN 64Kbps ~ 128Kbps、ATM 2Mbps と、その時々を利用できる高速なネットワークサービスを導入しては、改善を図ってきたのです。それでもデータが大容量すぎてネットワークでは送りきれず、テープを宅配便で送ったこともありました。

その後は、岐阜県・土岐市の自然科学研究機構 核融合研究所までスーパー SINET が来ていたため、ここに接続させてもらうことで 100Mbps に。さらに、2006 年から SINET のノードを設置して頂き、現在の 1Gbps へと増強されました。ノード設置に際しては、高エネルギー物理ネットワーク (HEPnet-J) 関係者の方々の多大なご協力を頂いたことを感謝しています。



神岡へのネットワーク接続

通信環境の改善が続けられてきたのは、やはりネットワークの高速化が研究にもたらす影響が大きいからなのでしょう。

竹内氏: その通りです。たとえば、昔はここ（神岡施設）まで来ないと、解析がやりにくいという問題がありました。解析結果をグラフで比較するにも、リモートからだとかマンドを実行してから 10 秒も待ったりする。これではとても効率的な研究は望めません。とはいえ、現役の学生は授業にも出ないといけないので、神岡にずっと詰めているわけにもいきません。その点、ネットワークが速くなれば、リモートからでも十分に解析が行えます。また、このことは、国内外の研究機関からアクセスしてくる研究者にとっても、大きなメリットになります。

武長氏: 私も学生時代は柏にいたのですが、その頃と較べても現在は随分環境が良くなりましたね。さすがに私の頃は 10 秒は待ちませんでした（笑）、それでもある程度のタイムラグがありました。それが現在では、柏にいてもほぼ神岡と同じスピードで、レスポンスが帰ってきます。かなり快適になりましたので、こうした環境を利用して、神岡の実験に参加する学生がもっと増えればいいなと思っています。

解析作業がやりやすくなったというのは大きな利点ですね。

竹内氏: それ以外に、IP テレビ会議が快適に行えるようになった点も大きいですね。場所が離れていることもあって、神岡では IP テレビ会議による研究打ち合わせも頻繁に行っています。本研究施設関係者だけでも、平均して一日 2、3 回は行っています。会議の相手は国内だけでなく、米国や欧州の研究者であることも多いです。国際共同研究ですから、世界中の研究者と顔を合わせて話ができるのは非常に重要なことなのです。最新の情報を直接交換し合うことができますし、お互いに相手のやっていることを理解しながら議論もできます。日・米・欧の研究者が、こうして一緒に研究を進めていけるのは素晴らしいことですね。

SINET のサービスについての評価はいかがですか。

竹内氏: 速度・安定性については非常に満足しています。特に、スーパーカミオカンデは 24 時間・365 日ノンストップでニュートリノ観測を続けていますので、ダウンタイムがほとんどないということが非常に重要です。もしネットワークがダウンしたら、外部からまったく装置の状況が分からなくなってしまいますからね。その点、SINET については、導入以来こうしたトラブルがありません。

最後に今後の研究についてお聞かせ頂けますか。

竹内氏: 2010 年は、先にご紹介した T2K 実験 (*) や XMASS 実験 (*) も控えています。今後も宇宙・素粒子分野の研究で、世界をリードしていきたいですね。

特に T2K 実験では、SINET3 のサービスを利用して、東海村・神岡間を結ぶ L2VPN を新たに構築します。これは、ニュートリノビームを発射した際の正確な時刻を GPS から取得し、そのデータを L2VPN で神岡までリアルタイム転送するためです。こうすることで、より精度の高い観測データを得ることができます。

このように、現在の研究活動においては、ネットワークが必要不可欠な存在になっていますので、SINET には今後も高速性・信頼性・安定性に優れたネットワーク環境を提供してもらえればと思います。

(*2010 年度より両実験は開始され、現在も実験中)



T2K 実験

ありがとうございました。

4. アトラス(ATLAS)実験

東京大学 素粒子物理国際研究センター

東京大学素粒子物理国際研究センターでは、欧州原子核研究機構 (CERN) に建設中の LHC 加速器を使った実験の一つ「アトラス (ATLAS) 実験」に参画しており、解析用データの転送などに SINET の国際接続サービスを利用しています。まもなく開始されるアトラス実験と SINET の役割について、同センターの真下 哲郎 准教授と松永 浩之 特任助教、磯部 忠昭 特任助教にお話を伺いました。

(インタビュー実施:2008年7月3日)

まず、素粒子物理国際研究センターの歩みと概要について伺えますか。



真下氏: 当センターの歴史は、小柴昌俊先生をはじめとする先達の方々によって 1974 年に設立された「高エネルギー物理学実験施設」にまで遡ります。以来 30 年あまり、一貫して、最先端の加速器による素粒子研究を手がけてきました。ただし、発足時は理学部附属施設であったものが大学直轄になるなど、組織の名称や形態は時代とともに変化しています。「素粒子物理国際研究センター」という名称は 1994 年からです。現在のセンターになったのは 2004 年からです。

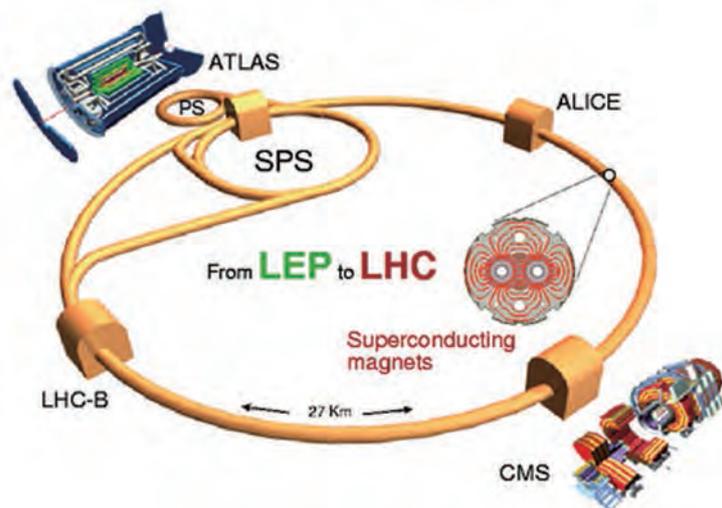
現在参加されている「アトラス実験」について教えてください。

松永氏: もともと当センターでは、CERN において 1989 年に完成した加速器「LEP」を使った国際共同実験「オパール (OPAL)」に参加していたのですが、この実験は多くの成果を得て 2000 年に終了しました。その後 CERN では、この LEP のために掘ったトンネルを再利用し、新たな加速器「LHC」の建設に着手。これを利用して、4 つの大きな実験を行うこととしました。そのうちの 1 つが、我々も参加している「アトラス (ATLAS)」です。



アトラス実験の目的としては、まずヒッグス粒子の発見が挙げられます。素粒子の標準理論はほぼ確立されていますが、そのうちの粒子の 1 つであるヒッグス粒子がまだ発見されておらず、重要なミッシング・ピースになっているのです。LHC を使ったアトラス実験では、これが発見されるのではないかと期待されています。また、このほかにも、超対称性粒子の発見など様々な現象を探索していく予定です。

The Large Hadron Collider (LHC)



提供 :ICEPP (CERN による図を改変)

LHC を利用することで、新たな素粒子が発見される可能性があるわけですね。

磯部氏: これまで世界最高エネルギーの加速器は米国の「Tevatron」でしたが、LHC はこの Tevatron と比較しても衝突時のエネルギーが格段に大きい。具体的には、衝突実験を行う際の重心系エネルギーが、Tevatron は 2TeV、LHC は 14TeV と 7 倍も違います。また、加速器中の陽子ビームの衝突頻度も、LHC は Tevatron より一桁以上高いので、衝突により生成する確率の低い粒子の探索感度も高まります。このため、より重い粒子を探索できるのです。イメージ的には、Tevatron のビームのエネルギーを 80km/h の 4 トントラックくらいだとすると、LHC のそれは 200km/h の新幹線くらいといった感じでしょうか。

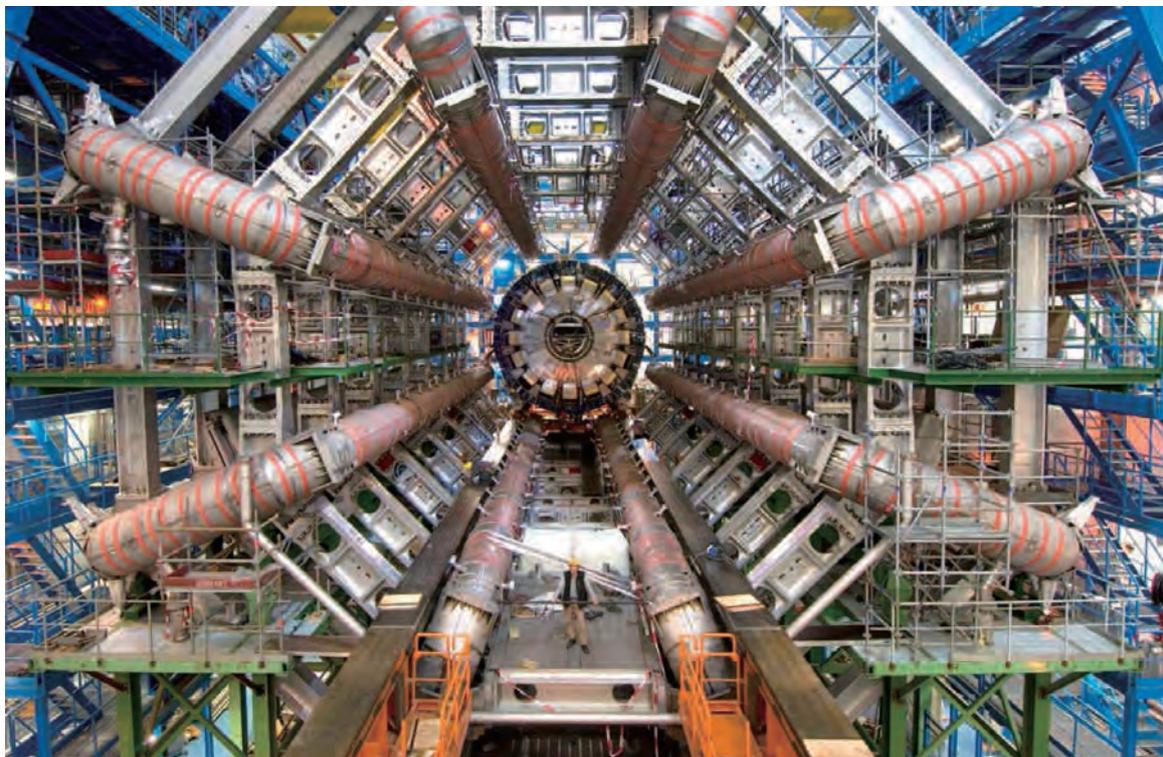


ちなみに、加速器が陽子を衝突させると言っても、実際に反応に関与するのは内部の一部のクォークやグルーオンに過ぎません。このため、いくら Tevatron が 2TeV であっても、実質的なエネルギーはもっと低いのです。それが LHC によって、ようやく新粒子の発見可能性が高いと考えられている TeV 領域での反応を見られるようになります。LHC への期待が高いのもそのためです。

LHC 加速器はかなり大きな施設だそうです。

真下氏: ジュネーブ郊外の地下約 100m の場所に円周状にトンネルが掘られており、周囲の長さは約 27km にも達します。山手線一周とほぼ同じ長さと言えば、そのスケールがお分かり頂けることでしょう。このトンネルの中には、ちょうど陽子同士がクロスする場所が 4 か所あり、ここに実験用の検出器が設置されます。アトラス実験用のアトラス検出器も、この 4 か所のうちの 1 か所、CERN 本部に一番近い場所に置かれています。

LHC 加速器そのものも巨大ですが、アトラス検出器も高さ 22m、長さ 44m、重量 7,000 トンという非常に大きい装置です。LHC 加速器の稼働はまもなく開始される予定ですが、これと同時にアトラス検出器も観測を開始する予定です。



建設中のアトラス検出器 (CERN copyright)

実験開始が楽しみです。さて、アトラス実験において、ネットワークはどのような役割を果たしているのでしょうか。

松永氏: 少し歴史的な経緯からお話すると、前の世代の実験では、ほぼすべてのコンピューティング資源を CERN の設備だけでまかなえました。しかし今回の LHC 計画では、以前よりもデータ量が膨大になる上に、処理や解析のためのプロセッサも大量に必要になります。もはや CERN の設備だけでは足りないため、世界中にデータ解析センターを置いてネットワークでつなごうということになりました。これが「WLCG」というグリッド・プロジェクトです。日本では、ここ東大にアトラス実験用の解析センターを置いて、CERN やほかの解析センターと様々なデータをやりとりします。そのためのネットワークとして、SINET の国際接続を利用しています。

相当大規模なデータを取り扱うのですか。

松永氏: アトラス検出器から出てくる生データの量も大きいのですが、データ解析のために行うモンテカルロ・シミュレーションのデータの量もこれと同じくらい大きいですね。ちなみに、検出器で生成される生データのサイズは、15 秒ごとにだいたい DVD 1 枚分、つまり約 5GB にも達します。年間を通して考えると、ペタバイト (PB) 級のデータが発生することになります。

ペタバイト級とはすごいですね。

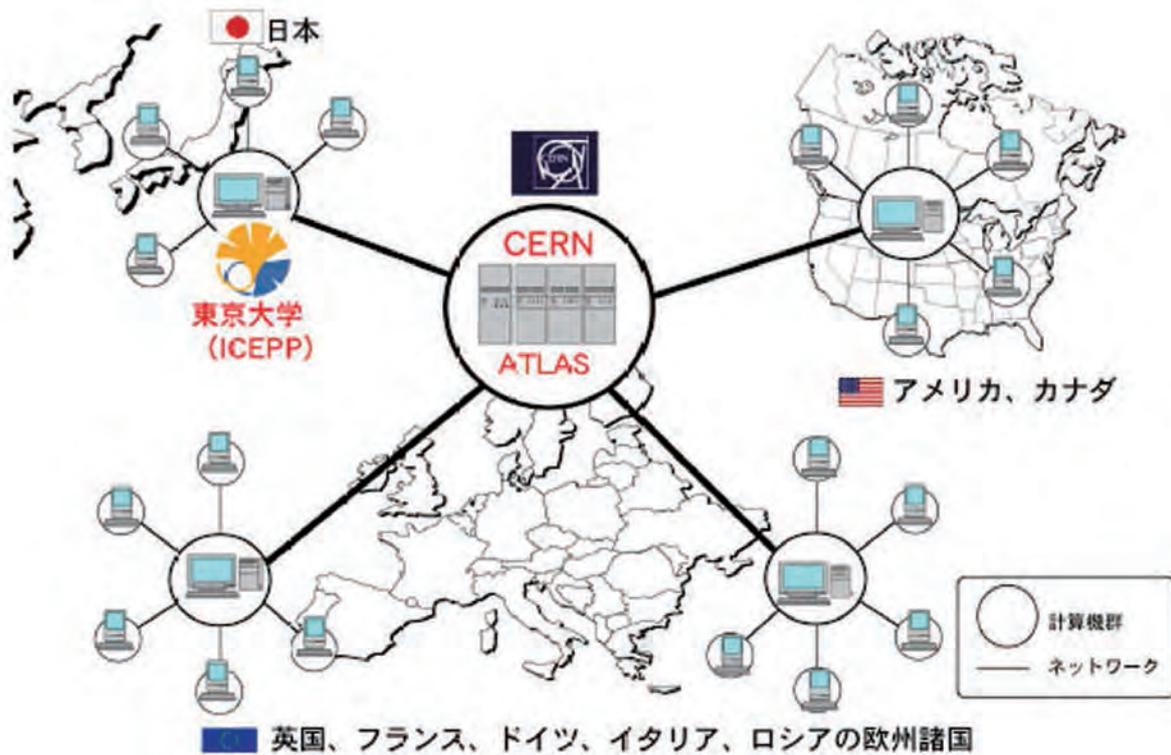
磯部氏: 実際の解析では、そのデータの中から必要な部分だけをピックアップしていくわけですが、それでも何十 TB、何百 TB というオーダーの 2 次処理データ、3 次処理データがどんどん生成されていきます。これをちゃんとやりとりできないと研究にならないので、ネットワークが担う役割は非常に重要なのです。

ほかのセンターとはどのように接続されているのですか。

松永氏: 当センターでは、フランスのリヨンにある計算機センターと主にデータをやりとりしています。検出器の 2 次処理データをこちらに持ってきたり、モンテカルロ・シミュレーションの結果を向こうに送ったりといった具合です。

接続の経路としては、当センターから東大情報基盤センターを経て、ニューヨークまでを SINET で接続。そこから GEANT2、RENATER などのネットワークを利用してリヨンまでを結んでいます。帯域も一年ほど前までは 1Gbps でしたが、現在ではこの全経路にわたって 10Gbps になりました。グリッドで使用しているミドルウェアの改良が進んだこともあり、かなり快適になりましたね。

磯部氏: 本格的な実験が開始されるまでの試験として、アトラス検出器が観測した宇宙線のデータやシミュレーションのデータを転送しているのですが、500 ~ 600MBytes/sec のスピードで通信が行えました。研究を進めていく上ではデータを早く送れる方が望ましいですから、非常に強力な武器になってくれると思いますね。SINET の信頼性・安定性についても、かなり満足しています。



データ解析ネットワーク (提供 :ICEPP)

最後に、実験開始を直前に控えた意気込みを伺えますか。

松永氏: 素粒子実験は年々大規模化しており、アトラス実験にも 37 カ国・約 2,200 人の研究者が参加しています。コンピューティングだけでなく、コミュニケーションにもネットワークを活用し、国際協調しながら研究を進めていきたいと思っています。

磯部氏: 私の父は通信系のエンジニアなのですが、10Gbps で国際接続していると説明しても、にわかには信じてもらえませんでした (笑)。こうした先端技術を駆使して物理の研究ができるというのは幸せなことです。今後、頑張っていきたいと考えています。

ありがとうございました。

5. 格子 QCD シミュレーションによる ハドロン物理・素粒子標準模型の研究

筑波大学 計算科学研究センター

筑波大学 計算科学研究センターは、計算科学の発展に貢献する全国共同利用施設として、2004年に設置された施設です。今回は素粒子物理研究のために構築されたデータグリッド「JLDG」と SINET の役割について、素粒子宇宙研究部門の吉江 友照 准教授と超高速計算システム研究部門の建部 修見 准教授にお話を伺いました。

(インタビュー実施:2008年7月1日,更新:2010年3月10日)

筑波大学 計算科学研究センターの活動目的について教えてください。

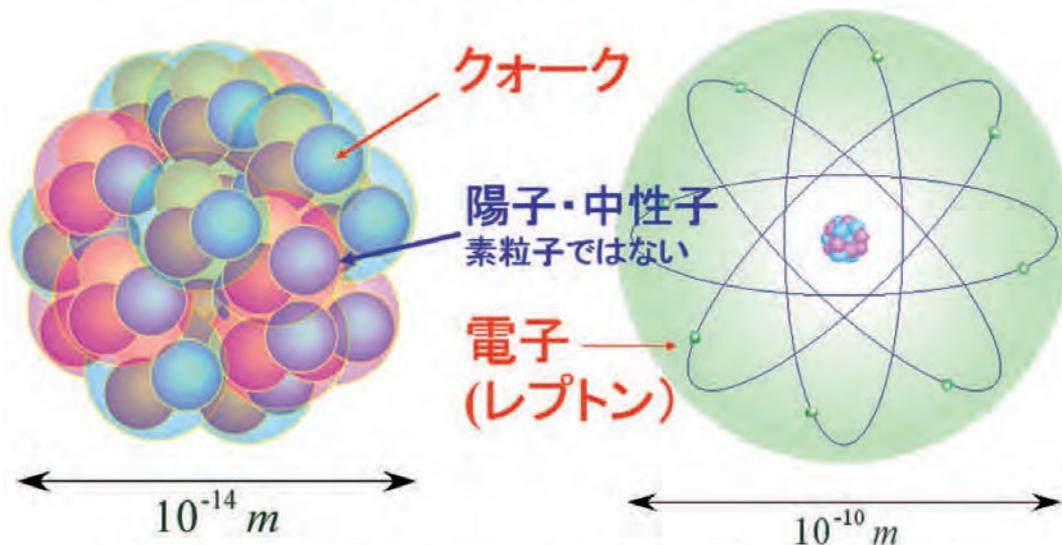
吉江氏:まず一点目は、計算機を利用した大規模シミュレーションや解析によって、各研究分野における課題を解くことです。たとえば、私の専門である計算素粒子物理学では、格子 QCD シミュレーションによるハドロン物理や素粒子標準模型の研究を行っています。

素粒子標準模型はかなり確立された理論なのですが、これが本当に正しいか検証したり、標準模型を超える理論の手がかりがないか予言したりすることが、現代素粒子物理学の重要課題になっています。こうした研究を解析的な手法で行うことは難しいため、数値的手法、つまり計算機を使ったシミュレーションが欠かせないのです。

また、「計算科学研究センター」という名称が示すとおり、計算機科学、情報科学の先進研究も当センターの重要な目的の一つです。たとえば、現在我々が利用している計算機「PACS-CS」も、計算科学分野の研究者の方々と一緒に開発したものです。



ー 計算素粒子物理学、特に、格子QCDシミュレーションによる ハドロン物理・素粒子標準模型の研究



ー クォークの理論から陽子などのハドロン物理を研究

サイエンス分野とコンピュータサイエンス分野の研究者が、お互いに連携しながら研究活動を行っているのですね。



建部氏: そういうことです。当センターには、素粒子宇宙、物質生命、地球環境生物の3分野の研究者と、我々計算機分野の研究者が集まっていますが、こうした形のセンターは全国的にも珍しいのではないのでしょうか。

計算機分野には、計算情報学研究部門と超高速計算システム研究部門の2つの部門がありますが、私が所属する超高速計算システム研究部門では、超高速計算機のアーキテクチャ設計や、システムに必要なソフトウェア、テクノロジーの開発などを行っています。先端研究のための計算機には、一般の企業システム向けのサーバなどとはまったく異なる要求が課せられます。たとえば今お話のあった PACS-CS でも、ノードへのデータ転送を高速に行う仕組みを実装するなど、並列計算を超高速で行うための様々な工夫を盛り込んでいます。

素粒子物理研究においても、ネットワークを活用したプロジェクトが進められているそうですが、これはどういうものなのでしょう。

吉江氏: 少々専門的になりますが、我々の研究においては「QCD 配位」というものが基礎的なデータとなります。一度 QCD 配位のデータが生成されれば、これを用いて素粒子のいろいろな性質を研究できます。ただし、一つ問題があって、QCD 配位のデータ生成には膨大な計算機資源が必要なのです。たとえスパコンを利用しても、1台だけではなかなか追いつきません。そこで、複数の研究機関のスパコンを利用して基礎データを生成し、これをネットワークで共有しようというプロジェクトが2002年に発足しました。

「hepnet-J/sc」と呼ばれるこのプロジェクトでは、SINET の GbE 専用線を採用して、筑波大・KEK (高エネルギー加速器研究機構)・京大・阪大・広島大・金沢大を結ぶ広域分散型ファイルシステムを構築しました。具体的には、各拠点のスパコンに接続したファイルサーバをファイアウォール代わりに利用し、これらのファイルサーバ間でデータをミラーリングする形で運用を開始しています。

ネットワーク概要



- 2002年より順次
1Gbps ブリッジ接続
- 2006年より
MPLS VPN 接続

「hepnet-J/sc」プロジェクトのネットワーク

なるほど。それならお互いのデータを有効に利用できますね。

吉江氏: ただし、この方法にも課題がありました。たとえば、我々の研究ではデータがあるひとまとまりの形で利用するのですが、これが複数のディスクに分散してしまうのです。また、ユーザー側でデータの所在やミラー先を覚えきれない、ユーザー・グループの概念がなくサポートが大変などの問題も生じてきました。

そこで、こうした点を解消する新たな仕組みとして、2005年より開発に着手したのがデータグリッド「JLDG(Japan Lattice Data Grid)」です。開発にあたっては「スペースの制限のないフラットなデータ共有システム」「組織をまたがるユーザー管理」の2点を実現したいと考えました。

具体的なJLDGの構成要素としては、建部先生も開発に携わられたグローバルファイルシステム「Gfarm」、仮想組織管理ツール「VOMS」、ユーザー認証システム「Naregi-CA」、グリッド・システム構築用ツールキット「Globus Toolkit」などが挙げられます。また、ネットワークには、従来のGbEブリッジ接続に代わって、SINET3のL3VPNサービス(MPLS/VPN)を利用しています。

JLDGでは、従来のようにデータの所在を意識する必要がないのですか。

建部氏: そうですね。ユーザーは自分が所属する組織のサーバにログインするだけで、研究に必要なデータを自由に利用できます。そのデータが実際にどこのサーバに格納されているかは、まったく意識しなくても大丈夫です。

ただし、こうした仕組みを実現する上では、いくつかの工夫が必要になります。たとえば、遠くのサーバにあるデータを取りに行くに時間がかかるので、ファイルの複製を各拠点のサーバに配置する作業を裏側で行っています。この結果、データのコピー作業が頻繁に発生するため、ネットワークの速さが非常に重要なのです。JLDGのような大規模データ共有においては、高速ネットワークの存在がマスト要件と言えるでしょう。

Japan Lattice Data Grid <http://www.jldg.org/>

- **Gfarm** (AIST, Tsukuba): global file system (fault tolerant, replica)
- **VOMS** (EDG): virtual organization management
- **Naregi-CA**: user certification
- **Globus Toolkit** (ANL): GSI- GridFTP
- **uberftp** (NCSA): interactive GridFTP client

• Grid-FTPクライアントにログインし、自サイトサーバに接続

• グリッドのどこからでもファイルを転送

• ユーザーはファイルの所在を知る必要なし

2007/03 限定ユーザーで試験運用
2008/05 正式運用開始

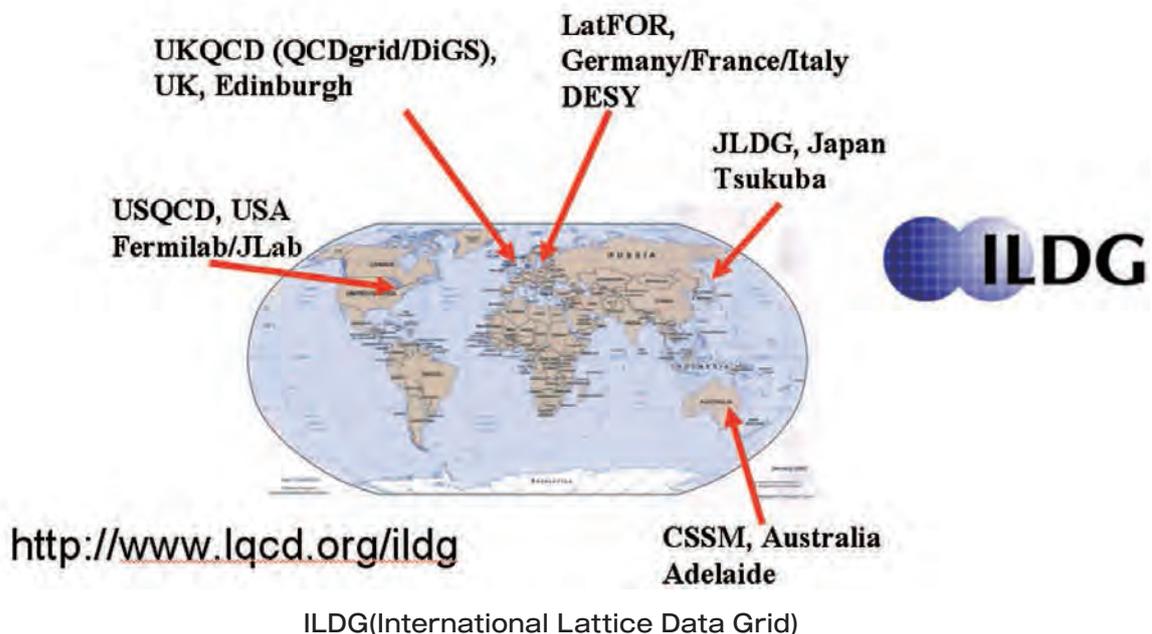
JDLG(Japan Lattice Data Grid)

そこを SINET が支えているというわけですね。JLDG の活用状況はいかがですか。

吉江氏: 2007年3月から試験運用を行ってきましたが、2008年5月より正式運用を開始し、ユーザー登録も順調に進んでいます。また、実はJLDGと似たデータグリッドが海外でも構築されており、これらを結ぶGrid of Gridsとして「ILDG(International Lattice Data Grid)」が運用されています。JLDGも、英国・欧州・米国・豪州のグリッドと並んでILDGに参加し、国内外の研究者に対してSINET経由でQCD配位を提供しています。データ転送の記録を見ると、現在は月間1000件程度のデータが利用されているようです。

ILDG と JLDG

- 5つの地域グリッドを束ねた Grid of Grids
- JLDG は、日本地域グリッド (筑波大計算科学研究センターにて接続)



JLDG が新たな発見を生むきっかけになるといいですね。最後に今後に向けた抱負をお聞かせ頂けますか。

吉江氏: 現在 JLDG は、計算素粒子物理研究者にデータを公開するために使われていますが、近い将来には日常的な研究インフラとして利用できるようにしていきたい。もっとも、大規模データの複製を作る際にも、グリッド上の遠隔サイトからデータを転送するにも高速なネットワークが不可欠ですので、SINET のサービスにも大いに期待しています。

建部氏: 基本的には、高速な計算機を創り上げていくことに尽きますが、そこには計算機のアーキテクチャやファイルシステム、通信ソフトや各種ライブラリなど、様々な要素が含まれています。今後もこうした研究開発を進め、シームレスで効率的なシステムを実現していきたいですね。

ありがとうございました。

6. 未来のクリーンエネルギー源の 安全な実用化を目指す核融合研究

核融合科学研究所

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所 (以下、NIFS)では、ネットワークの活用によって、国内の核融合実験・研究環境の統合化を図る「核融合バーチャルラボラトリ構想」を推進し、2008年6月には、九州大学・QUEST 装置との間で遠隔データ収集・配信を開始するなど、様々な取り組みを行っています。NIFS 高温プラズマ物理研究系 准教授 中西 秀哉氏と NIFS シミュレーション科学研究部 / ネットワーク作業班 助教 山本 孝志氏に、SINET が果たす役割と今後のビジョンについて伺いました。

(インタビュー実施:2008年11月28日,更新:2010年1月18日)

まず、NIFS の活動目的と、先生方のご専門について伺いたいのですが。



中西氏: NIFS は、未来のエネルギー源として注目されている、核融合反応やプラズマの研究を行う機関です。核融合には、有害な廃棄物が出にくい、水素を原料として利用できるなど、様々な特長があります。このクリーンなエネルギーを、安全な形で実用化できるようにするのが我々の目的です。

私自身は、NIFS が運用する LHD (大型ヘリカル装置) の実験データシステムを担当しています。LHD は稼働開始から 10 年が経過していますが、核融合分野ではまだまだ新しい装置であり、世界で最も多くの実験データを出力する装置でもあります。これらのデータを LHD から収集、解析すると同時に、他の大学や研究機関へのデータサービスを行うのが我々の役割です。

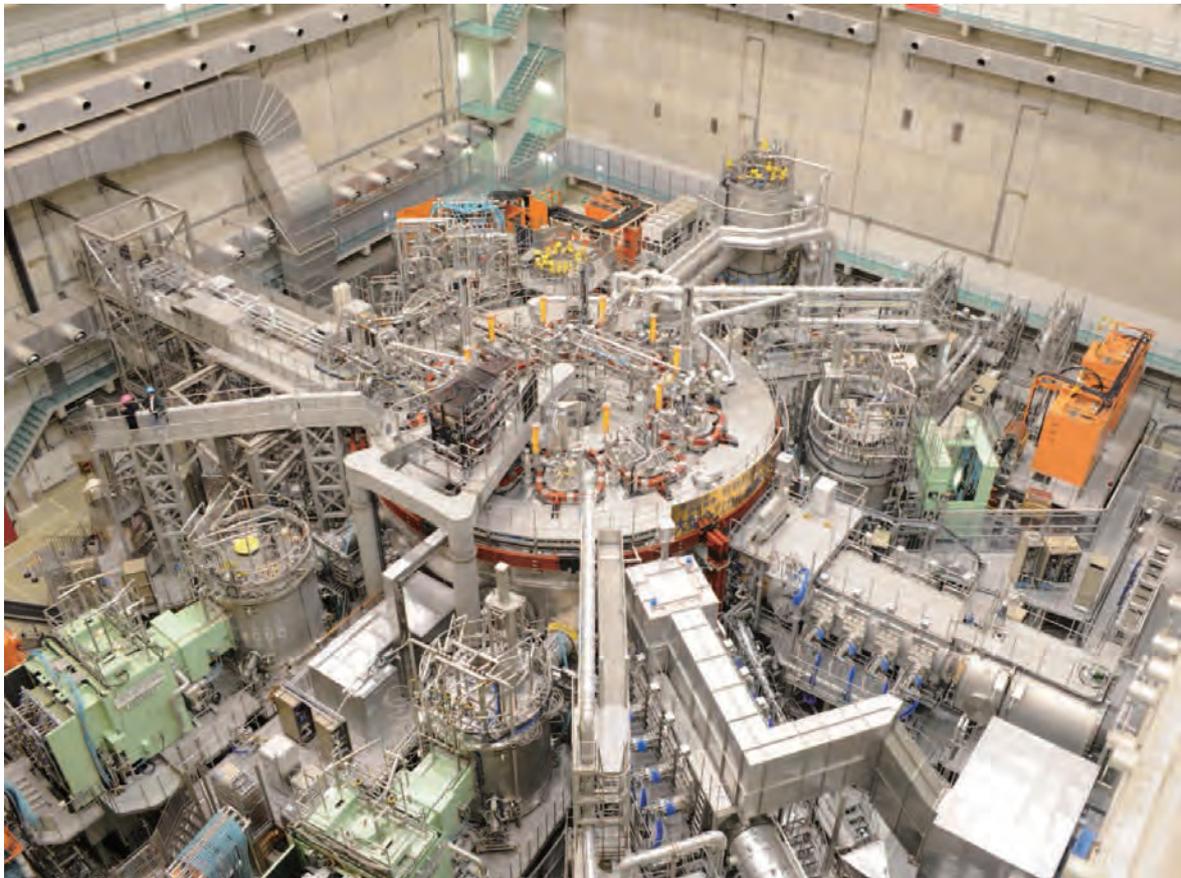
山本氏: 私が所属するシミュレーション研究部では、プラズマの物理機構を解明するためのシミュレーション研究を行っており、3次元没入型バーチャルリアリティシステムの開発なども進めています。また私自身は、NIFS の情報ネットワーク全般を担当しています。



NIFS では、「核融合バーチャルラボラトリ構想」を進めておられるそうですが。

中西氏: プラズマ実験は出力されるデータ量が大きいので、かつては共同実験の要望があった場合は、こちらの施設まで来て泊まり込みで参加してもらわないといけませんでしたが。これでは、研究もはかどりませんし、実験が行われるタイミングと都合が合わない場合もあります。

そんな時にスーパーSINETのサービスが開始されたため、ネットワークを利用した共同実験、つまりバーチャルなラボラトリが実現できるのではと考えたのです。いわばLHDの制御室が、接続先の各大学の研究室にも置かれているようなイメージですね。実際の取り組みとしては、2002年より「LHD 実験遠隔参加」を開始しています。



LHD 実験装置



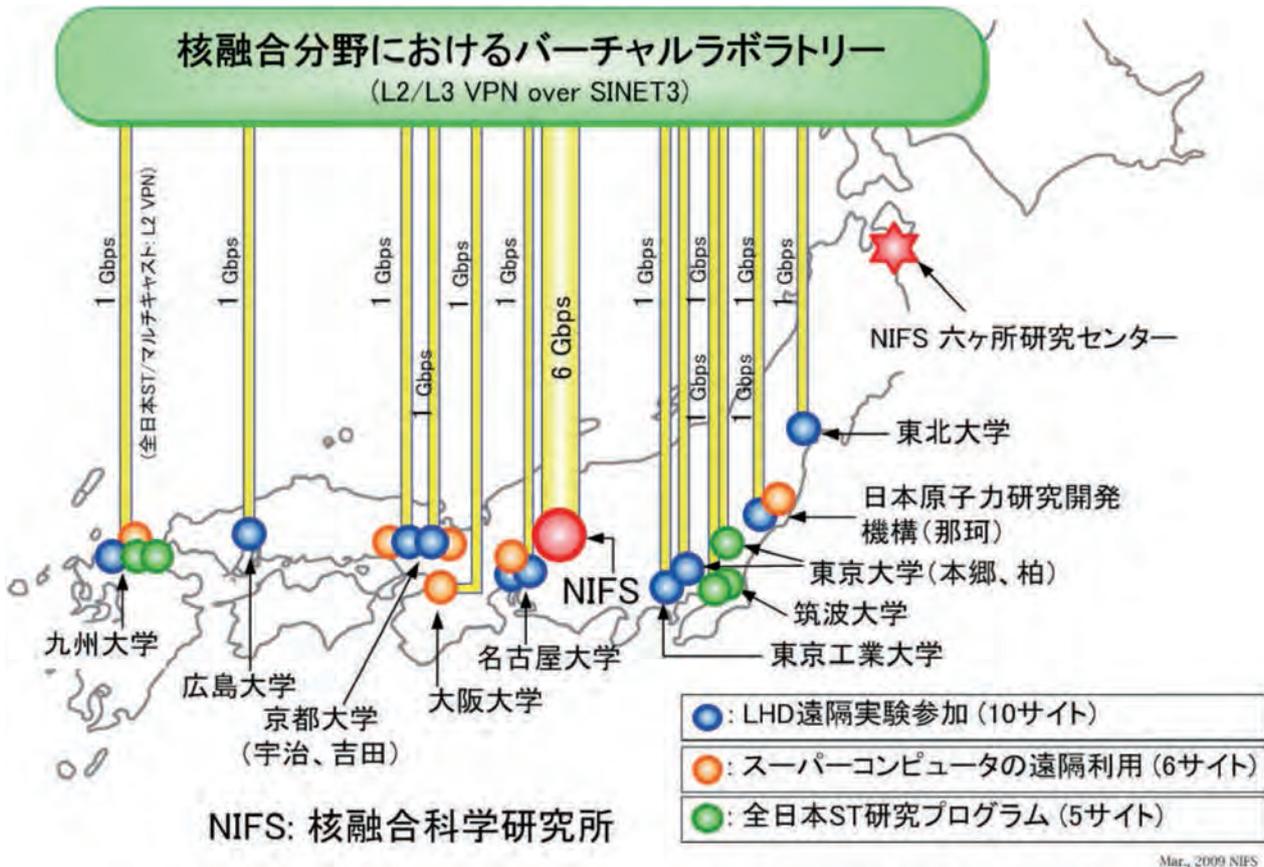
LHD 制御室

そのための基盤となるネットワークが「SNET」というわけですね。

山本氏: その通りです。当初 SNET では、スーパー SINET の L3VPN(MPLS-VPN) を利用して、国内の大学・機関と NIFS を接続していました。現在は SINET3 の L2/L3VPN サービスを利用しており、2009 年 4 月現在 21 拠点 (10 大学・研究機関) と接続しています。(*)

LHD 実験遠隔参加の概要ですが、LHD 制御室の様子を TV 会議システムによって伝えると同時に、LHD に取り付けられた計測機器の制御やデータ収集を、ネットワーク経由で遠隔地サイトから行っています。たとえば、京都大学の例では、初期には計測機器の調整などを NIFS のスタッフが手伝ったりしていましたが、最近では計測機器の立ち上げからデータ収集までのほとんどの作業を、現地から行っているとのこと。

(*2011 年 3 月現在 24 拠点)



SNET 接続概要

九州大学の「QUEST 新装置」のデータ収集・配信にも、SNET が活用されていると伺いました。

山本氏: SNET の新たな展開として、2005 年から「スパコン遠隔利用」「全日本 ST (球形トカマク) 研究」の 2 分野が加わっており、QUEST での取り組みはこの後者にあたります。QUEST から得られる計測データを、SNET 経由で NIFS の LHD データシステムに収集すると同時に、各大学・機関への配信を行っています。

ここで課題になったのが、大容量の実験データをいかに高速転送するかという点でした。SNET 構築当初から利用してきた L3VPN は、一台ルータを置いておけばその先に利用目的の違うグループを作れるなど、柔軟な運用が可能です。ただ、大量の計測データをやりとりしたい場合には、もっと遅延が少なく高速なネットワーク環境が望ましい。そこで新たに採用したのが、SINET3 の L2VPN サービスです。これを利用することで、1Gbps の転送速度を目指したいと考えています。

中西氏: データシステムを担当する立場としては、プラズマ実験のデータ量が年を追うごとに増大するという問題に直面しています。たとえば LHD でも、一日あたりのデータ量は 1TB 以上、圧縮を行った後でも約 300 ~ 400GB の容量になります。こうした大量データを特定の研究グループで使いたいという時には、やはり L2VPN のメリットが非常に大きい。ルータをたくさん経由したりしないため、パケットロスなども最小限に抑えられますしね。それだけに SINET3 で L2VPN サービスが開始されたのは、非常にありがたかったです。

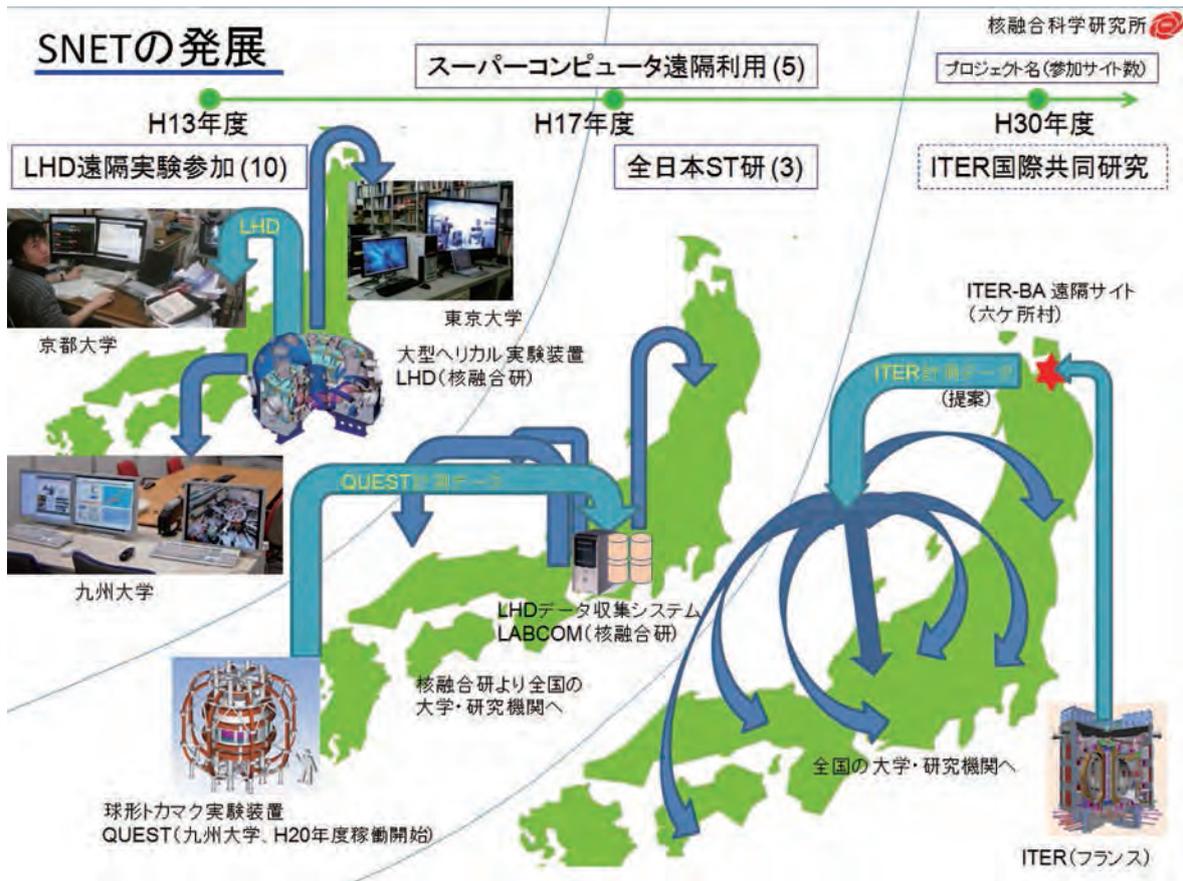
また、もう一つの L2VPN サービスのメリットとして、マルチキャストの同報通信が効果的に使える点が挙げられます。プラズマ実験は、事前準備・点火・後処理という一連のシーケンスで構成されており、これを LHD では 3 分間隔、QUEST では 5 分間隔で繰り返します。このタイミングを遠隔地サイト同士でしっかり同期させる上で、L2VPN のマルチキャストが大変役に立つんですね。たとえば「実験開始 30 秒前」というマルチキャストのメッセージを聞いた上で、待ち状態に入るといったことができます。つまり、データ伝送の手段としてだけでなく、実験の制御用ネットワークとしても SNET が利用できるのです。こうした使い方が可能になったことで、実験の形態も大きく広がっていくと期待しています。

国際共同研究プロジェクトも進められているようですが。

中西氏: 実験装置は年々大型化しており、一国の予算だけでは賄えない規模になっています。そこで国際プロジェクトとして進められているのが「ITER 国際共同研究」です。フランスのカダラッシュに非常に大規模な国際熱核融合実験炉「ITER (イーター)」を設置、日本では青森県の六ヶ所村に遠隔研究サイトを設置することになりました。現在、2018 年の完成を目指して、ITER の建設作業が進められています。

実験開始の暁には、ITER のすべての実験データを六ヶ所村に持ってくる予定です。また、フランスと日本では時差が7時間ありますので、このズレを利用して日仏の研究者が連続して ITER を利用する検討も行われています。

もちろん、ここでもデータ容量の多さが重要な課題になります。ITER からは LHD とは桁違いのデータが出力されますので、このデータをどうやってフランスから持ってくるか、また、国内の大学・機関にどう配信していくかがポイントになります。それだけに、今後の SINET の進展にも大きな期待を掛けています。



SINETの発展

最後に今後の研究に掛ける意気込みを伺えますか。

山本氏: ネットワークを担う立場としては、まず、各大学・機関のネットワーク担当者の方々にお礼を申し上げたいですね。SINET のネットワーク変更を行う際などにもいつも迅速なご対応を頂き、深く感謝しています。個人的には、今後はネットワークもそうですが、新しい分野にもチャレンジしていければと考えています。

中西氏: LHD の実験データシステムでは、比較的早くから分散アーキテクチャを取り入れ、最初はLAN、それからWANへと領域を拡大してきました。またLHD から外への一方通行だけでなく、今回のQUESTのような双方向のデータ活用も実現してきました。将来的には、こうした環境を海外にも拡げて、グローバルな核融合バーチャルラボラトリを創り上げていきたいですね。それにより、核融合の実用化に貢献できればと思います。

ありがとうございました。

7. レーザー電子光を用いてハドロンの性質を研究するLEPS実験

大阪大学 核物理研究センター

大阪大学 核物理研究センター (RCNP:ResearchCenter forNuclearPhysics) 核物理実験研究部門では、レーザー電子光を用いてハドロンの性質を研究するLEPS (LaserElectronPhoton beamline atSPring-8) 実験を推進しています。その概要とSINETが果たす役割について、大阪大学 核物理研究センター 教授 中野 貴志氏と、同 助教 堀田 智明氏にお話を伺いました。

(インタビュー実施: 2010年4月23日)

まずは RCNP の概要と核物理実験研究部門の研究内容について教えてください。



中野氏:RCNPは大阪大学のキャンパス内に設置されていますが、全国で唯一の原子核物理の共同利用研究機関でもあり、国内外の原子核物理研究者に対して門戸を開いています。このため阪大だけでなく、様々な大学・機関の核物理研究者が一緒になって共同利用や共同研究を行っています。センター内には我々が所属する核物理実験研究部門のほか、核物理理論研究部門、加速器研究部門、宇宙核物理学寄附研究部門などの研究部門が置かれています。一口に原子核物理と言っても、その研究対象は非常に幅広いのですが、我々のグループではハドロン物理、つまり陽子や中性子の中に存在するクォークのふるまいを調べる実験研究を行っています。

実験には「レーザー電子光」を用いるとのことですが、これはどのようなものなのか。

中野氏:クォークのような小さな粒子を調べるには、極めて波長の短い光が必要になります。光の波長とエネルギーは反比例の関係にありますので、波長を短くするためにはエネルギーを高めなくてはなりません。ここで役立つのがレーザー電子光です。加速された電子にレーザー光を当てると、ものすごい勢いで光が跳ね返ってきます。ちょうど猛スピードで突進する鉄球にピンポン球をぶつけるようなもので、光のエネルギーを何億倍にも増幅できるのです。



衝突によってハドロンを変化させる

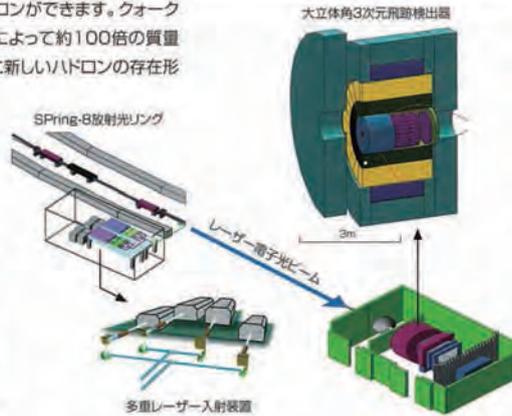
当センターでは、こうした実験を行うためのレーザー電子光実験施設「LEPS」を、兵庫県・播磨科学公園都市にある大型放射光施設「SPring-8」内に置いています。SPring-8の蓄積リングを周回する電子ビームは8GeVのエネルギーを持っており、波長350nmのレーザー光を当てると2.4GeVの強力な光子ビームが得られます。この光子ビームの波長は0.5フェムトメートルと陽子の大きさよりも小さいため、クォークのふるまいを調べることが可能になるのです。

実験はどのような形で進められるのですか。

中野氏:LEPS で作り出した光子ビームを陽子などの標的に当てると、極めて短時間の寿命しか持たない新しい粒子が生成されます。実験ではこの粒子を検出器で捕らえ、その性質やふるまいを調べます。もっとも、実際にどのような粒子ができるかは、やってみないと分からない部分もあります (笑)。従って、そこで起きている現象を見逃さない、見落とさないということが非常に大事なのです。我々の実験研究においても、SPring-8 での作業は一つのフェーズであり、その後長い時間を掛けてデータを解析する作業が控えています。新しく参加した研究者が、独自の視点で過去データを解析し直す場合もありますので、いかに大量のデータを実験で取得し、蓄積していくかが重要なポイントになります。

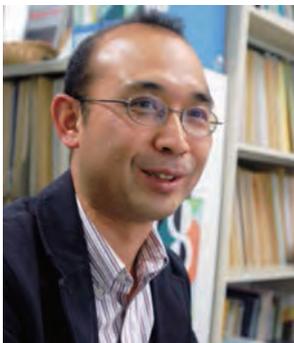
新物質の存在形態を探る

素粒子であるクォークが集まることで多くの種類のハドロンができます。クォークの質量はほとんど無いに関わらず、ハドロンになることにより約100倍の質量を獲得します。これが南部理論です。この機構に迫るために新しいハドロンの存在形態を研究しています。



新物質の存在形態を探る

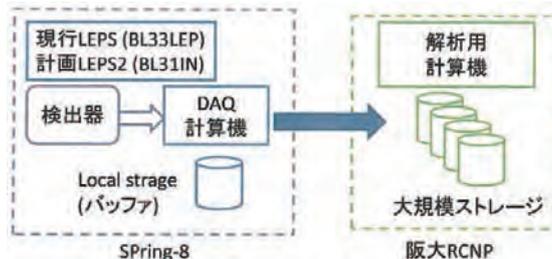
LEPS を支えているシステム / ネットワーク環境についても伺いたいのですが。



堀田氏:SPring-8 内には、検出器で収集したデータを記録、一次保存するための計算機とローカルストレージが置かれており、実際の解析作業は当センター内の解析用計算機と大型ストレージを利用して行います。また、この間のデータ転送のインフラとして、SINET3 の L3VPN サービスを利用しています。

以前は SPring-8 側の回線帯域が十分でなかったため、大容量データの転送に苦労する場面もありました。しかし、2005 年度に Super SINET ノードが設置されてからは、こうした問題も解消できています。現在、SPring-8 では一日あたり 200GB ものデータが生成されていますが、約 600Mbps 程度の通信速度が確保できているおかげで、転送も非常にスムーズです。

また、以前は RCNP と SPring-8 のネットワークを別々に運用していたのですが、VPN で一体運用できるようになったことで、それぞれの資源をシームレスに利用できるようになりました。データへのアクセスはもちろん、こちらから SPring-8 のプリンタに文書出力するといったことも簡単に行えます。おかげで現場の研究者の利便性は格段に向上しましたね。

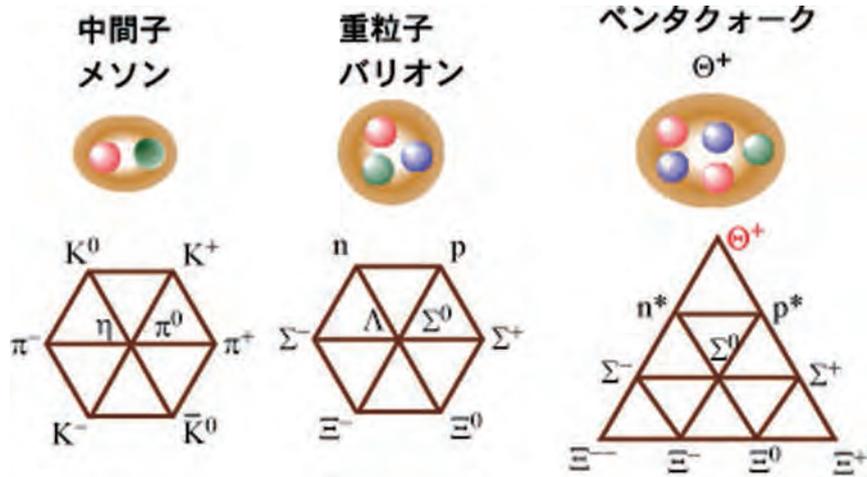


RCNP - SPring-8 間 SINET3 L3VPN利用
Data: ~200 GB/day, bbftp転送 (約800Mbps)
RCNPの内部ネットワークをSPring-8内に延長 (LEPSグループ専用)

実験データの流れ

これまでの研究成果について教えてください。

中野氏: 最大の成果としては、クォークでできている粒子の中に、新しいタイプのものがあることを発見した点が挙げられます。量子色力学において、クォークは三原色、または三補色の組み合わせで白色になった時に安定すると言われています。しかし、理論的には、4つ以上のクォークの組み合わせが禁止されているわけではありません。たとえば色+補色、色+補色の4色でも白色になりますし、三原色と色+補色の5色でも白色になります。今までこうした4色以上の組み合わせは実際には見つかっていなかったのですが、LEPS 実験によって5個のクォークで構成されていると考えられる粒子「ペンタクォーク」が発見されました。従来は理論でしかなかったものの存在を、世界で初めて捉えたというのは、非常に意義のあることと言えます。もっとも、現時点ではまだ完全に確立したとまでは言えませんので、さらなる研究を進めているところです。



ハドロンを分類する SU(3) ウェイト図

「LEPS2」に向けた取り組みも進められているようですが。

中野氏: 今お話したペンタクォークをはじめとして、LEPS 実験ではいろいろな新しい発見がありました。そこで、LEPS の十倍の強度を持つ強力なレーザービームを使用し、検出器もグレードアップして、より詳細なデータを収集しようと考えています。これが現在取り組みを進めている LEPS2 実験です。SPring-8 には全部で 62 本のビームラインがありますが、LEPS2 ではその内の 4 本だけしかない 25m の長尺ビームラインを使用する予定です。

堀田氏: もっとも、LEPS2 が本格的に稼働すると、出力されるデータの容量も今までとは桁違いのスケールになります。先に LEPS では一日あたりのデータ量が 200GB と述べましたが、LEPS2 では一秒あたり 300GB ものデータを収集する予定です。これを SPring-8 から当センターへ転送するとなると、約 3Gbps の帯域が必要になりますので、ネットワーク環境もより強化しなくてはなりません。そういう意味では、今後の SINET の発展と支援にも大いに期待しています。

LEPS2 が動き出す日が楽しみです。最後に今後の抱負を伺えますか。

中野氏: ネットワークや IT 技術の進歩によって、原子核物理の実験スタイルは大きく変わりました。ディスクや計算機などの資源が高価で貴重だった時代には、測定対象を上手に絞り込むことが実験家の腕とされていました。しかし現在では、とにかく大量のデータを収集し、解析するスタイルに変わっています。我々も LEPS や LEPS2 でできる限り詳細なデータを蓄積し、クォークの世界で何が起きているのかを見逃さないようにしたいと考えています。

ありがとうございました。

【宇宙科学・天文学】

8. アルマ望遠鏡プロジェクトと SINET
(国立天文台)
9. L1 オンデマンドサービスを利用した光結合 VLBI 観測
(国立天文台)
10. 太陽観測衛星「ひので」による太陽研究
(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部)
11. 銀河系の 3 次元立体地図を作る「VERA」プロジェクト
(鹿児島大学)

8. アルマ望遠鏡プロジェクトとSINET

国立天文台

自然科学研究機構 国立天文台 チリ観測所では、北米及び欧州諸国と協力して「アルマ (ALMA: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) 望遠鏡プロジェクト」を展開しています。その概要と SINET が果たしている役割について、自然科学研究機構 国立天文台 教授 アルマ地域センター・マネージャー 立松 健一氏と、同 チリ観測所 専門研究職員 中村 光志氏にお話を伺いました。

(インタビュー実施:2013年11月12日)

まず「アルマ望遠鏡プロジェクト」の研究目標について教えてください。



立松氏:わかりました。アルマ望遠鏡プロジェクトでは、「銀河の起源」「惑星系の誕生」「生命へつながる分子」の3点を研究目標として掲げています。この宇宙がビッグバンで始まったことはご存知だと思いますが、実はビッグバン直後にいきなり星が生まれたわけではなく、「宇宙の暗黒時代」と呼ばれる何もない真っ暗な時代が長く続いています。では一体、宇宙はいつ夜明けを迎えたのか、最初の世代の星や銀河はいつ生まれたのか、それを解き明かそうとするのが「銀河の起源」の研究です。

また、私たちが住む太陽系のような惑星系についても、その成り立ちはあまり分かっていません。かつては惑星といえば、金星や木星といった太陽系内の惑星しか観測できませんでした。しかし、1995年に初めて系外惑星が発見された後は、候補も含めて約3000個の惑星が見つかり、惑星系には非常に多様な形態があるということも分かってきました。そこで2点目の「惑星系の誕生」の研究では、恒星の生まれる仕組みや惑星誕生

の過程を明らかにしようとしています。

そして最後の「生命へつながる分子」の研究では、生命がなぜこの宇宙に生まれたのかを探っています。この研究では様々な生命関連分子を取り扱いますが、特に注目しているのは生命体を構成するタンパク質に欠かせない「アミノ酸」です。アミノ酸にはお互いが鏡像体の関係にある「L体」と「D体」が存在しますが、不思議なことに地球上の生命のタンパク質はほとんどすべてL体のアミノ酸できているのです。遠い宇宙空間でアミノ酸を検出できれば、生命関連分子がどのように作られ、どう進化してきたのかを知る上で重要なカギとなります。

そのために作られたのがアルマ望遠鏡というわけですね。

立松氏:その通りです。今述べた3つの研究を行う上では、望遠鏡にもいくつかの要件が求められます。たとえば視力(空間分解能)が良いこと、サブミリ波が観測できること、それに感度が高いことなどですね。遠くのものを見るためには良い視力が必要ですが、そのためには望遠鏡を大きくする必要があります。そこでアルマ望遠鏡では、最大直径18.5kmの敷地に66台の電波望遠鏡を配置しています。ちなみに宇宙望遠鏡として有名なハッブル望遠鏡の視力は600ですが、アルマ望遠鏡はその10倍の視力6000を達成しようとしています。

次のサブミリ波が観測できることも大事なポイントです。我々人間は可視光でモノを見ますが、これだと星の一生の中で大人の世代にある星しか見えません。生まれたばかりの状態を見るためには、摂氏にして-263~-200℃くらいの極低温のガスや塵が発する電波、すなわちミリ波やサブミリ波という種類の電波を捉える必要があります。観測波長数mmのミリ波は、たとえば標高1350mにある野辺山宇宙電波観測所でも観測できますが、波長1mm以下のサブミリ波は標高5000mの高地に行かなければ観測できません。ですので、アルマ望遠鏡はそのような高地に建設しました。しかもこうした電波は非常に微弱なため、高い感度も必要になってくるというわけです。



アルマ望遠鏡の観測画像

(Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO). Visible light image: the NASA/ESA Hubble Space Telescope)

アルマ望遠鏡は南米のチリにあるそうですが、遠く離れた日本からどのようにして研究を行っているのですか。

立松氏: 元々チリのアタカマ高原を設置場所に選んだのは、一年を通して天候が良く、水蒸気による電波吸収の影響も受けにくいという理由からです。最適なロケーションを求めて世界中を探していたところ、日本の研究チームがこの場所を発見したんですね。とはいえ、飛行機を乗り継いでも片道 35 時間は掛かりますし、高山病などにも注意が必要な場所です。とても気軽に行って帰ってくるというわけにはいきません。そこで日本・米国・欧州の三ヶ所にそれぞれ地域センターを配置し、アルマ望遠鏡の観測データをミラーリングして研究を行っています。



アルマ望遠鏡

(Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO))

なるほど。それなら現地に行かなくとも済みますね。

立松氏: 私がマネージャーを務める東アジア・アルマ地域センターでは、国内の大学・研究機関はもちろんのこと、台湾をはじめとする東アジア地域の研究者に対してもアルマ望遠鏡を使った観測提案の受付や観測準備、データ配布などのサービスを提供しています。ちなみに、アルマ望遠鏡のユニークなところは、異なる国や地域の研究者が同じデータを使って研究を行う点です。自分の観測提案が採用された研究者には一年間の占有期間が与えられますが、その後は公開されて他の研究者も利用できるようになります。1つのデータが8つの研究チームに利用されている例もありますよ。

遠隔観測を行うとなると、データの受け渡しを担うネットワークの責任も重大ですね。

中村氏: そうですね。アルマ望遠鏡では年間 200TB のデータアーカイブ容量を想定していますが、まずはこれをチリから日米欧の地域センターへ転送しなくてはなりません。そこで山麓施設の一次アーカイブから首都サンティアゴの二次アーカイブを経て、そこから複数の学術ネットワークを経由して各地域センターへデータを送っています。ちなみに日本へは REUNA、RedCLARA、Internet2 を経て一度北米に転送し、そこから SINET 経由で国立天文台・三鷹キャンパスまで持ってきています。REUNA では 75Mbps の帯域を確保していますが、大きなデータを転送する際は、これがほぼ上限に張り付いている状況ですね。また SINET については、こちらに蓄積されたデータを大学や研究機関が利用するためのインフラとしても役立っています。



立松氏: 以前はハードディスクなどの物理媒体を利用してデータを送らなければなりませんでした。同じチリにある ASTE 望遠鏡プロジェクトの際に 64Kbps の衛星回線を利用した遠隔運用に着手し、その経験を元にアルマ望遠鏡では観測データのネットワーク転送まで行えるようになりました。現在では SINET をはじめとする各国の学術ネットワークの協力もあり、非常に安定的な運用が行えています。



アルマ望遠鏡 - 日本

(Credit: Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com)/ESO)

最後に今後の展望について伺えますか。

立松氏: アルマ望遠鏡の研究は、言ってみれば大量の雑音の中から宝物となるデータを探すような作業です。不用意にデータ圧縮を行ったりすると、宝物であるデータを失いかねません。とはいえ、望遠鏡が出力するすべてのデータを送るのは難しいので、現在は時間／周波数方向への積分を行うなどしてデータ転送レートを抑えています。しかし、私たち天文研究者としては、こうした貴重なデータをできるだけ捨てることなくアーカイブしていきたい。そのためにはネットワークインフラのさらなる広帯域化が求められます。しかも 66 台全てのアンテナが稼働して本格運用が始まったら、24 時間・365 日にわたってデータが流れ続けることになりますので、SINET の今後の発展と貢献にも大いに期待しています。

ありがとうございました。

9. L1オンデマンドサービスを利用した光結合VLBI観測

国立天文台

自然科学研究機構 国立天文台 水沢 VERA 観測所 光結合 VLBI 推進室では、国内の VLBI 観測局を光回線で結んだ高感度観測ネットワークを運用しています。国立天文台 光結合 VLBI 推進室室長 教授 川口 則幸氏と、同 研究員 原 哲也氏に、これまでの取り組みと、新たに活用を開始した SINET3 L1 オンデマンドサービスの効果について伺いました。

(インタビュー実施:2008年12月11日,更新:2010年1月25日)

まず、光結合 VLBI 推進室で取り組まれている、光結合 VLBI の概要と特徴について教えてください。



原氏: 光結合 VLBI とは、離れた場所にある電波望遠鏡を光回線で接続し、お互いの観測情報を合成することで、より高感度での観測を可能にする方法のことです。初期の VLBI 観測では、データを磁気テープに記録して、相関処理を行う相関局まで輸送するなどしてしていました。これでは、観測結果が得られるまでに、大変な手間と時間が掛かってしまいます。その点、光結合 VLBI 観測では、観測データをすぐにネットワーク経由で伝送し、リアルタイムで処理を行うことができます。また、磁気テープの容量を超えるデータがやりとりできるため、これまでは観測できなかったような天体も観測することができるのです。

現在に至るまでには、いろいろなプロジェクトが実施されたそうですね。

川口氏: そうですね。これまでの歩みをお話すると、まず、通信総合研究所(現: 情報通信研究機構)が 1990 年代に実施した「Key Stone Project」によって、本格的な光結合 VLBI 時代の幕が開きました。これと同時期に、国立天文台でも、宇宙科学研究所(現: JAXA)、NTT と共同で、人工衛星「はるか」からの VLBI 観測データをリアルタイム相関処理する「OLIVE プロジェクト」を実施しています。この二つのプロジェクトは 1998 年に統合され、「GALAXY プロジェクト」として再スタートしました。



さらに、スーパー SINET のサービスが開始されたことに伴い、2002 年より「VONUS プロジェクト」が発足。ここでは、まず高エネルギー加速器研究機構経由で、つくば市にある国土地理院の 32m アンテナを接続し、その後核融合科学研究所経由で岐阜大学の 11m アンテナを接続しました。SINET3 になってからも、山口大学経由で国立天文台の山口 32m アンテナを接続しています。2006 年には、「GALAXY」「VONUS」の両ネットワークを合わせた「OCTAVE プロジェクト」へ移行しましたが、これは世界でもトップクラスの光結合 VLBI ネットワークです。

光結合 VLBI では、回線帯域は広ければ広いほど良いそうですが。

川口氏: はい。VLBI 観測では、それぞれの電波望遠鏡が観測したデータの中から、似ている部分を探し出すことで観測を行います。これが相関処理を行うということなのですが、問題はこの似ている部分の割合です。電波望遠鏡で受信したデータのうち、実際に観測データとして使える部分は 0.01% くらい。実はこれでも多い方で、残りの 99.99% 以上はノイズなのです。

私はよく「砂金採り」をたとえ話にするのですが、砂金をたくさん採るためには、とにかく大量の砂利を集めてふるいに掛けるしかありません。これと同じようなことが、そのまま光結合 VLBI にもあてはまります。観測を行うためには、できるだけ大量の観測データを集めてくる必要があるのです。ちなみに、現在の観測システムでも 8Gbps の帯域を余裕で埋められるくらいの能力がありますが、最近開発した装置では 50GHz のサンプリングが可能で、これが実用化されると、理論的には双方向で 100Gbps のデータが流せますので、回線帯域はどれほどあっても困ることはないですね(笑)。

SINET3 の L1 オンデマンドサービスの利用も開始されましたが、これにはどういう狙いがあったのですか。

川口氏: 国立天文台以外の電波望遠鏡には、それぞれ固有のミッションがありますので、意味のある観測データが取れるのは、我々が時間を指定して使わせてもらっている期間だけです。すべての電波望遠鏡を同じ天体に向けないと、観測は行えませんからね。しかし、それ以外の観測を行っていない間も、24時間・365日データは流れ続けています。いわば、観測に使えないデータで帯域を占有することになっていたわけです。我々としても、この点を以前から心苦しく思っていました。

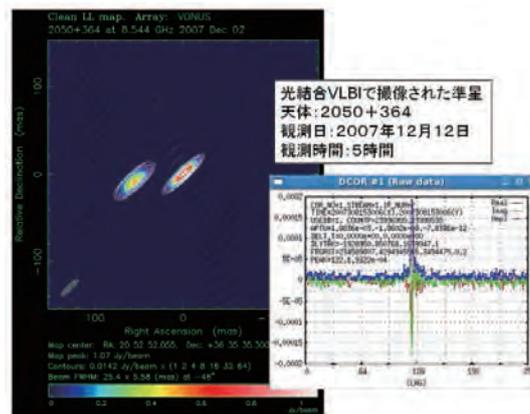
しかし、SINET3 の L1 オンデマンドサービスを利用すれば、我々が観測を行う時だけネットワークリソースを確保することができます。学術ネットワークとしてこうしたサービスを提供するのは、世界でも初めてと伺いましたが、非常にいいアイデアだと思いましたね。

実際にサービスを利用してみた印象はいかがですか。

原氏: 山口 32m アンテナ、並びに筑波 32m アンテナとの間で L1 のパスをつないでいますが、回線を確保する際の予約手続きなども簡単で非常に使いやすいですね。通常は観測を行う数日前から予約しておきますが、すぐ使いたい場合は当日予約もできるので便利です。ちょうど今日も、数日後に行う観測のための予約を入れたところです。



光結合 VLBI 観測網



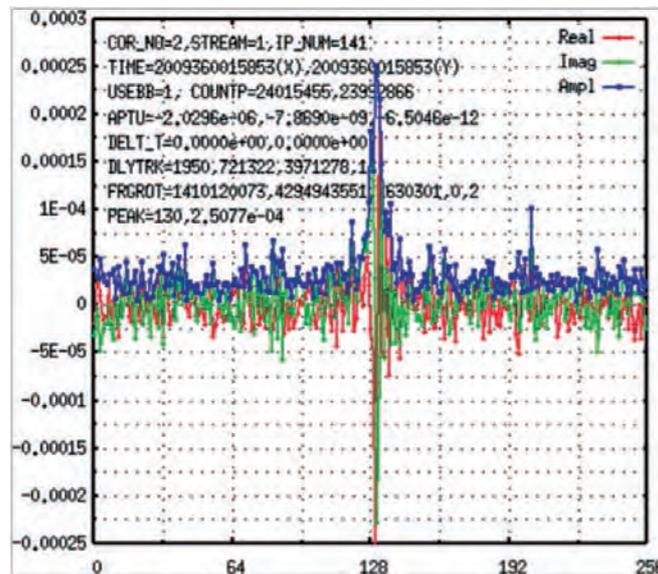
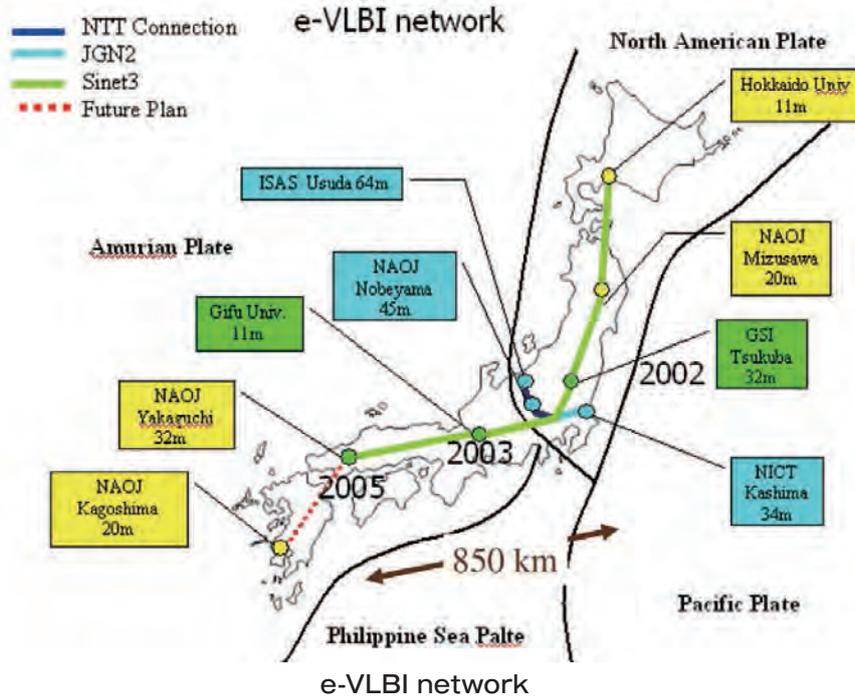
光結合 VLBI で撮像された準星 (2007.12.12)

他の大学や機関と予約が重なったりするケースもあるのですか。

原氏: 現在は試行期間中なのでそうでもないですが、今後正式にサービスが開始された際には、そういうこともあるでしょうね。もっとも、我々の場合は土日に観測を行うことも多いので、他のユーザーに比べて競合の心配は少ないかも知れません。予約の希望が複数あった場合は、L1 オンデマンドサービス側で抽選を行い、「当選」「落選」という表示が出るようになっていますが、まだあまり落選したことはありません(笑)。ちなみに、今回の予約でも土日を含めた4日間を確保しており、その間に9時~16時までの観測を2セット実施する予定です。

接続先は今後も増えていく予定なのですか。

原氏:2009年に北海道大学の札幌キャンパス経由で北大・苫小牧11mアンテナが接続されたほか、国立天文台の日立32m、高萩32mアンテナとも接続する予定です。長時間・高感度の観測が行えるようになったことで、今までにない新しい発見が生まれる可能性も高まりました。こうした研究が行えるのも、ネットワークがあればこそです。ぜひいい成果を挙げて、皆さんにもご紹介できればと思いますね。



鹿島 - 苫小牧基線の初FRINGE (2009.12.26)

最後に SINET への期待を伺えますか。

川口氏:我々はいま日本中の電波望遠鏡をつなぐ取り組みを行っているわけですが、国内だけでなく海外にもたくさん電波望遠鏡があります。将来的には、こうした世界中の電波望遠鏡を光ファイバーでつないでいきたい。もちろん、こうしたグローバルな観測ネットワークを実現する上では、SINETの支援が欠かせませんので、今後とも頑張ってもらいたいと思います。

ありがとうございました。

10. 太陽観測衛星「ひので」による太陽研究

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部*では、宇宙科学に関わる幅広い分野の活動を行っています。今回は太陽観測衛星「ひので」による太陽研究と SINET の関わりについて、同研究本部 宇宙科学情報解析研究系 助教 田村 隆幸氏にお話を伺いました。

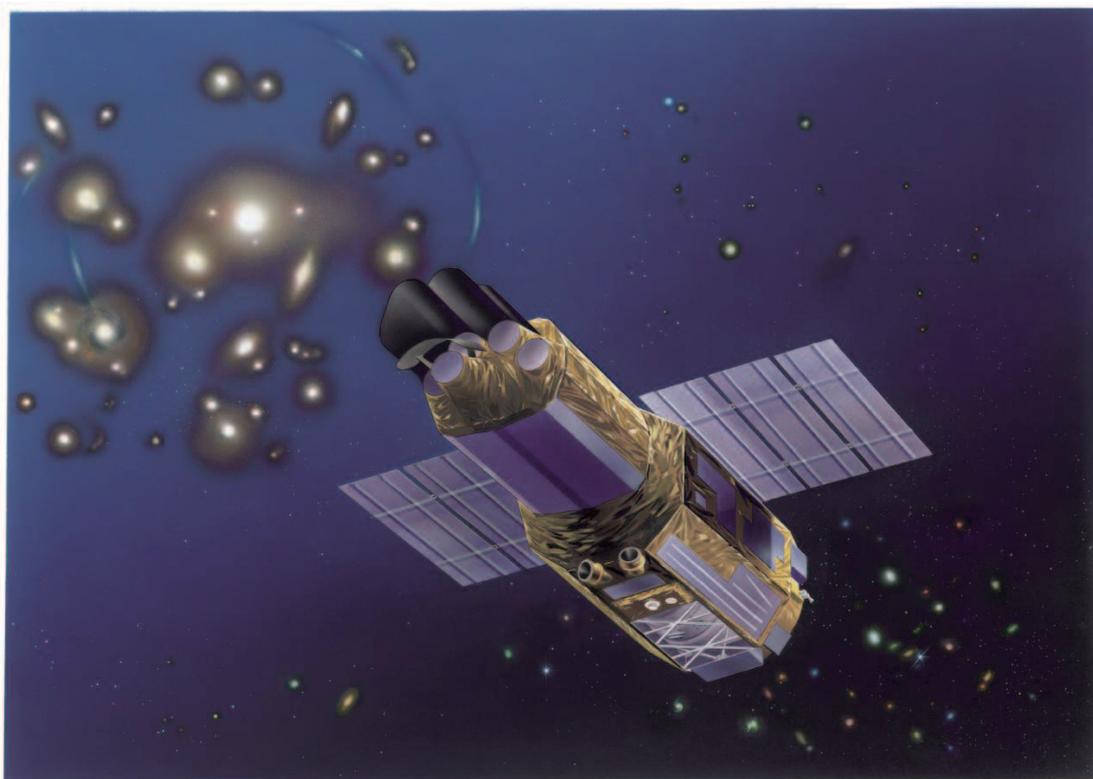
* 2010年4月、宇宙科学研究本部から、宇宙科学研究所へと名称および組織の変更が行われました。

(インタビュー実施:2008年7月3日)

宇宙科学研究本部では、どのような活動が行われているのでしょうか。



田村氏:宇宙科学研究本部は、「宇宙科学」、つまり宇宙空間に出て行う科学研究を通じて、日本の宇宙開発の発展に貢献することを目的としています。活動内容も多岐にわたっており、「科学衛星」「ロケット」「大気球」「宇宙理学」「宇宙工学」「宇宙環境利用科学」など、様々な分野の研究を行っています。たとえば、私の専門は X 線天文学で、最初に挙げた科学衛星の分野に属しています。現在当研究所では 8 つの科学衛星を運用していますが、この中の X 線天文衛星「すざく」を使って、銀河やブラックホールなど様々な天体を観測・研究しています。



X 線天文衛星「すざく」の CG イラスト

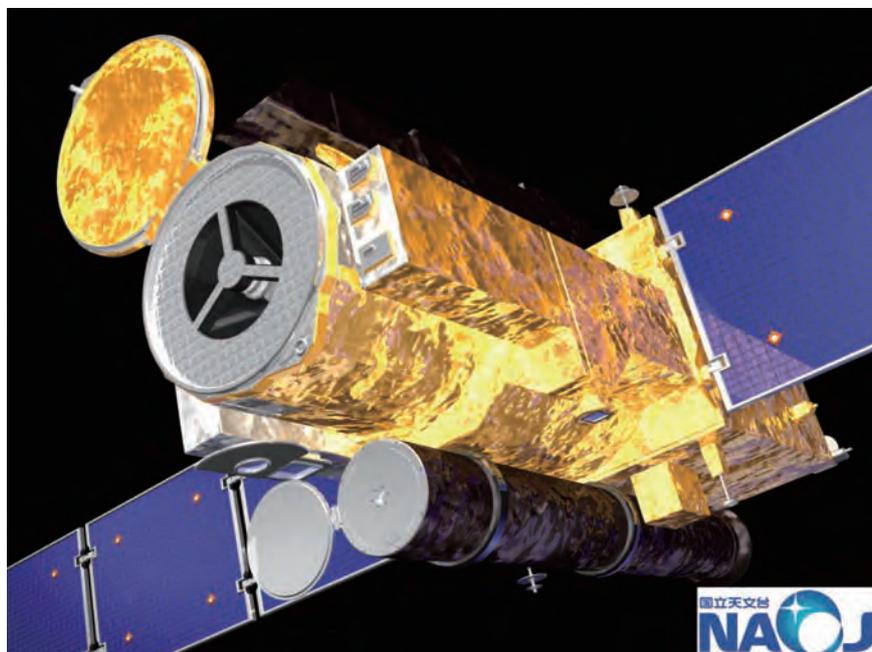
© 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

肉眼で見える現象を観測するだけでなく、X 線による観測も行われているんですね。

田村氏: X 線観測を行うことで、可視光だけでは分からない様々な事象が研究できるのです。たとえば、太陽で言えば、コロナやフレアなどを見ることができます。また、このほかにも、銀河団の周囲に存在する「銀河団ガス」の観測データをスペクトル分析することで、その中にどのような元素が含まれているのか、どれくらいの割合で存在するのかといったことがわかります。こうした分析を行うことで、銀河の成り立ちを研究したりできるわけです。

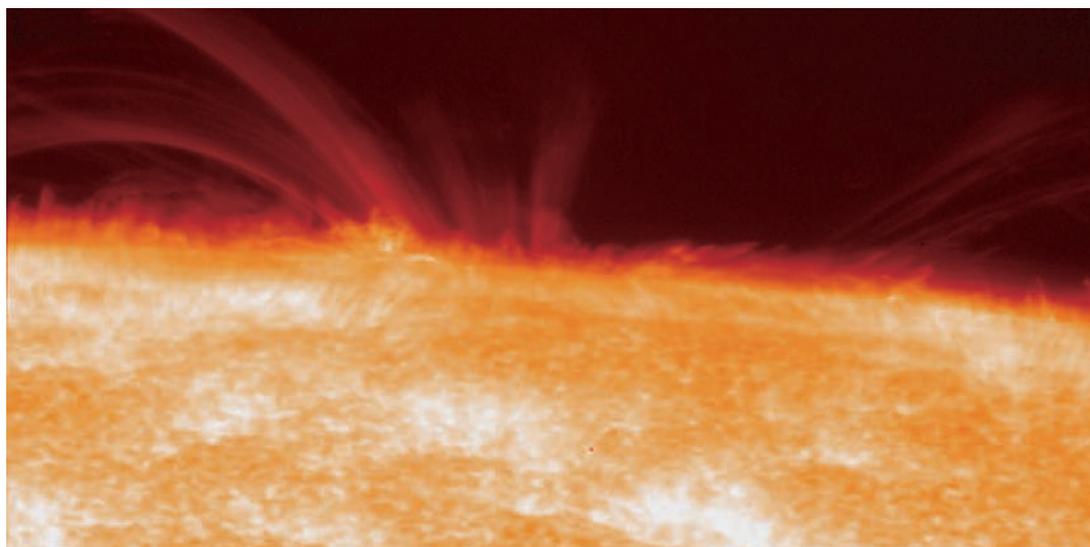
なるほど。いろいろな手段を使って観測することが大事なのですね。SINET は「ひので」の研究に活用されているようですが、この衛星はどのような衛星なのですか。

田村氏:「ひので」は、太陽の研究を行うための太陽観測衛星で、1991年に打ち上げられた「ようこう」の後継衛星になります。日本では、当研究本部と国立天文台の「SOLAR-B サイエンスセンター (<http://hinode.nao.ac.jp/sbsc/>以下、ひので科学センター)」が共同で観測を行っています。また、観測装置の開発にあたっては米国 NASA (アメリカ国立航空宇宙局) や、英国 PPARC (素粒子物理学 天文学研究協議会) との国際協力も行われました。



太陽観測衛星「ひので」のCGイラスト
国立天文台/JAXA 提供

「ひので」の研究目的は、「高温コロナの形成」「太陽磁場・コロナ活動の起源」「天体プラズマの素過程」の3点を解明することにあります。この目的を達成するために、可視光磁場望遠鏡、X線望遠鏡、極紫外撮像分光装置などの観測装置を搭載しています。ちなみに、この可視光磁場望遠鏡は世界でもトップクラスの空間分解能を備えており、0.2秒角で観測を行うことができます。天文学に詳しくない方にはちょっとピンと来ないかも知れませんが、「高度500kmの衛星軌道から地球を見た」とすると、50cmのものが見分けられる」と言えば、その性能の凄さがお分かり頂けるのではないのでしょうか。



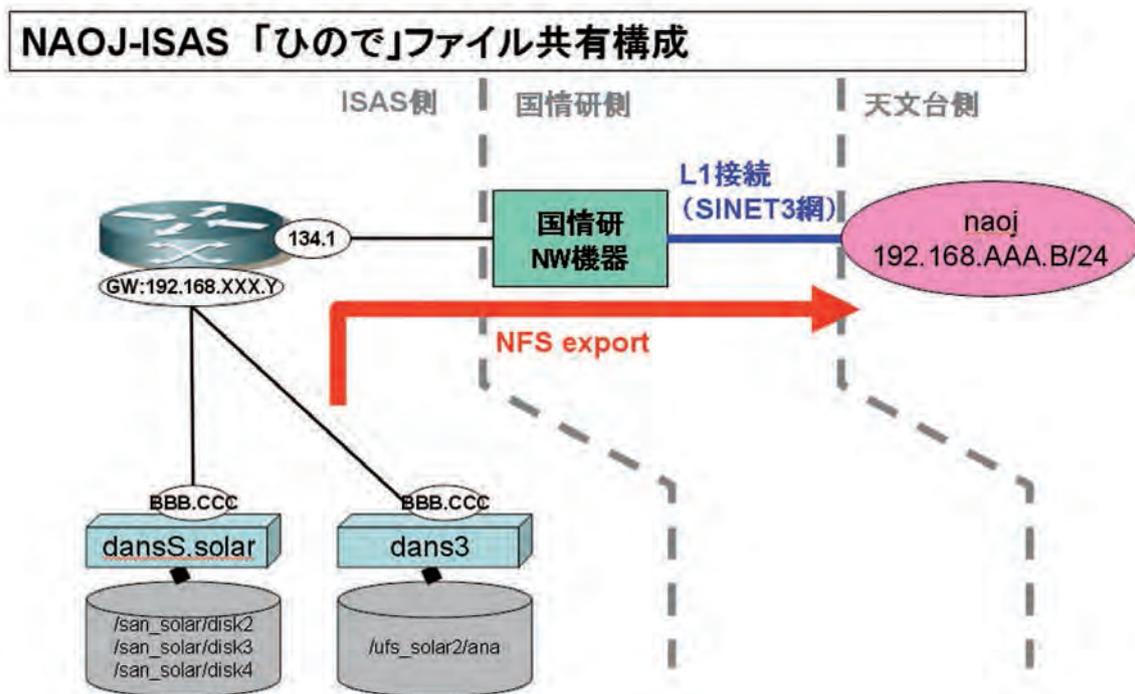
「ひので」が観測した黒点周囲のダイナミックな噴出現象
国立天文台/JAXA 提供

今後の太陽天文学の発展に貢献する衛星というわけですね。SINET はどのような形で利用されているのですか。

田村氏：ひので科学センターでは、当研究本部でフォーマット変換などの処理を行ったデータを利用して、解析業務やムービー、物理量マップなどの作成を行います。これらのデータは容量が非常に大きいため、単純にコピーしたのでは同期作業などが大変になります。そこでデータコピーを行うのではなく、SINET3 の L1 品質保証パスを利用して宇宙研究本部・ひので科学センター間に 1Gbps の専用線を敷設し、両機関で NFS によるファイル共有を行っています。このシステムは、ひので科学センターの業務を支える重要なコアシステムになっているとのことです。

どれくらいの容量のデータを取り扱うのですか。

田村氏：「ひので」のデータは現時点で約 15TB 程度です。宇宙研究本部の他の衛星のデータはだいたい数 TB 程度ですから、それと比較しても格段に大きいですね。しかも、データ量はこの 15TB で終わりではなく、「ひので」の観測が続く限り、これからもどんどん増えていきます。こうした大容量データを活用した研究を行う上では、ファイル共有システムと高速なネットワークが欠かせません。もし現在のような仕組みがなかったら、ユーザーは自分が研究に使用したいデータの一つずつ探し出し、ftp などを使って手元にダウンロードする必要があります。これでは手間が掛かって仕方ありません。



NAOJ-ISAS 「ひので」ファイル共有構成
国立天文台/JAXA 提供

SINET と NFS によるファイル共有システムが、研究を効率よく進めていくためのツールとして役立っているわけですね。具体的なメリットとして感じられる点などはありますか。

田村氏：ひので科学センターに伺ったところ、「打ち上げ当初に、国立天文台に巨大なデータストレージを構築する必要がなくなったため、その分のリソースを解析システムに投入できた。また、遅いインターネット経由によるデータ転送も行う必要がなくなったため、ひので衛星の初期成果が増大した」とのことでした。SINET の L1 品質保証パスについても「専用線のため、他のトラフィックを気にすることなく、大量データ転送が行えるので非常に便利」とのことです。

一般に公開天文台などでは、観測を担当した研究者が優先的にデータを利用し、一定期間を経た後に公開することが多いのですが、「ひので」については観測データを即時公開するオープンな枠組みを採用しています。多くの研究者が新しいデータを待ち望んでいますので、それに応える上でもネットワークの高速さが重要と言えます。

その他に、何か SINET が役立っている点がありますか。

田村氏:ここ数年、テレビ会議を頻繁に行うようになったのですが、こうしたコミュニケーションの活性化という点でも役立っていますね。私の専門である X 線の分野でも、以前は全国の研究者がここ（宇宙科学研究本部）に集まって会議をしていましたが、最近はテレビ会議でカバーできる部分も多くなっています。また、遠方の研究機関から来られていた方々にとっては、移動のために費やす時間やコストが減らせるという点でも、メリットが大きいのではないのでしょうか。

最後に今後の展開について伺えますか。

田村氏:「ひので」については、現在データを宇宙科学研究本部だけに蓄積していますので、SINET を利用して国立天文台へのデータコピーを行う計画を進めています。これにより、国立天文台内でのデータ活用が促進できるだけでなく、万一自然災害や障害などが発生した際のバックアップとしても機能させることができます。

また将来的には、宇宙科学研究本部・国立天文台間だけでなく、国内の様々な大学や研究機関とも、ファイル共有が行えるようになればいいですね。私個人としても、様々な衛星の観測データを利用して、新しい発見につながるような研究を進めていければと思っています。こうした取り組みを進めていく上では、SINET からのサポートも重要ですので、今後も様々な側面から支援してもらえればと思います。

ありがとうございました。

11. 銀河系の3次元立体地図を作る「VERA」プロジェクト

鹿児島大学

鹿児島大学 理学部では、国立天文台と共同で、銀河系の3次元立体地図を作る「VERA」プロジェクトを推進中です。今回は、VERAにおけるSINET3の活用について、鹿児島大学大学院 理工学研究科 物理・宇宙専攻 助教 中川 亜紀治氏にお話を伺いました。

(インタビュー実施: 2010年3月9日)

まず、中川先生の所属する宇宙物理学グループの活動について伺えますか。

中川氏:鹿児島大学 理学部では、天文や物理に関する様々な研究が行われていますが、我々のグループでは、入来に設置された口径1mの光赤外線望遠鏡、国立天文台・VERA 入来局20m電波望遠鏡、また錦江湾公園に設置された6m電波望遠鏡の3つの観測装置を利用して、主に銀河系を対象とした観測や研究を行っています。



先生はVLBIによる位置天文学がご専門ですが、その面白さはどういう点にありますか。

中川氏:位置天文学は天体の位置や運動、また天体までの距離を測ることをテーマとしていますが、実は天文学は意外と誤差の大きい学問でもあります。たとえば「ある星までの距離の誤差は±30%」なんてことが研究では日常的に語られたりします。30%もの距離の誤差なんて、日常生活では考えられませんよね(笑)。しかし、天文学では、何に付けてもこうした大きな誤差が少なくありません。距離についても、いろいろな求め方はありますが、その正確さとなるとやや怪しい面がありました。その点、現代の位置天文学では、複数の電波望遠鏡を組み合わせたVLBIの手法を用いることで、今まで数十パーセントだった誤差を、数パーセント以下にまで縮められるようになりました。星の位置を正確に求められるということは、天文学を精密科学のレベルにまで引き上げていくことにつながります。また、天体の動きを精密に観測することで、昨今話題を呼んでいる「ダークマター」の解明にも繋がります。さらに、多くの巨大電波望遠鏡を利用する「ビッグ・サイエンス」である点も、VLBIの面白さですね。

その取り組みの一つが「VERA」ということですが、このプロジェクトの目的について教えてください。

中川氏:鹿児島大と国立天文台が協力して推進しているVERAは、我々の住む天の川銀河の立体地図を作ることを目的としています。おそらく皆さんも、銀河系のイラストやCGなどをご覧になったことがあると思います。イメージとしてはああいう感じですが、単なる想像図ではなく、実際に観測した距離に基づいて作成される地図である点が大きく異なります。また、静的な地図ではなく、天体の運動も伴った動的な地図である点も特徴の一つです。

「銀河鉄道の旅の始まりです」



2002年に、銀河系の立体地図作りを始めたVERAは、世界最高の性能を発揮して、これまで知ることのなかった星ほしの位置と動きを次々に明らかにしています。今、私たちは、天の川に沿って、銀河鉄道の星めぐりの旅を始めたのです。

VERA
VLBI Exploration of Radio Astronomy



銀河系中心

太陽

世界の群を抜く性能で、最高の成果を生み出す!

●は、VERAで発見されている天の川銀河の恒星です。これから、さらに200個以上の星の位置と動きを測り続けていきます。

三角測量による天体の距離のランキング (2007年発表)

観測対象	観測装置	発表年	距離
S05(メーザー天体)	VERA	2007年	17,250光年
Soo X-1(超新星)	VLBA	1999年	8,000光年
W3OH(メーザー天体)	VLBA	2000年	8,000光年
R2021+5(メーザー天体)	VLBA	2002年	8,000光年
UX Cyg(メーザー天体)	VLBA	2000年	8,000光年
R0358+64(メーザー天体)	VLBA	2004年	3,180光年

2007年7月、私たちはVERAによる天体の三角測量で、世界最高の性能を達成したことを発表しました。

●の距離オリオン星にあるオリオン星雲までの距離を、1,363光年と、これまでの10倍以上の精度で測定しました。



オリオン星雲 距離1,363光年

●の距離528分の位置を、距離から17,250光年にあることを示しました。これは、それまで測定されていた距離の2倍近くまでを世界で初めて測ったことに匹敵します。



S209 距離17,250光年

VERA プロジェクト (提供 : 国立天文台水沢 VLBI 観測所)

遠くの天体までの距離をどのようにして測っているのですか。

中川氏: VERAでは、三角測量と年周視差を利用した観測を行っています。三角測量は、三角形の底辺の長さや頂角の大きさから目的物までの距離を測る方法ですが、VERAではこの底辺の長さを地球～太陽間の距離を元に算出します。次は両端の角度ですが、地球は太陽の廻りを公転しているため、同じ星でも春に見るのと秋に見るのとでは位置が少し違ってきます。この角度の差、つまり年周視差を観測することで、頂角も割り出すことができます。あとは、両者を組み合わせることで、目的の天体までの距離を正確に計算できるというわけです。

ただし、このように原理的にはシンプルでも、実際に行うのはそう簡単なことではありません。何しろ目的の天体は非常に遠い場所にありますから、三角形の形も途方もなく細長いものになります。具体的には銀河中心の場合、年周視差は約1/3600万分の1度というかなり小さな数値になります。

こうした精密観測を行う上で、大いに役立ってくれるのがVLBIです。VERAでは入来局、岩手県の水沢局、石垣島局、小笠原局の4つのアンテナを組み合わせることで直径2300kmの電波望遠鏡と同等の性能を実現しており、更に電波の波としての特性を利用することで3億6000万分の1度の精度で計測が行えます。また、VERAのアンテナ群は世界で唯一の2ビーム望遠鏡であり、VLBI観測で問題となる大気揺らぎの影響も排除できます。



VERA4 局の望遠鏡配置

どのような天体が観測の対象となるのですか。

中川氏: 生まれたばかりの星や年老いた星の中には、非常に強い電波を放射している天体があります。VERA が観測するのは、こうした「メーザー源」と呼ばれる天体です。メーザー源にもいくつかの種類がありますが、その中でも、特に星の廻りに漂う水分子から電波を放射している「水メーザー」などを対象としています。ちなみに、VERA では、銀河系の立体地図を作るために、1000 個程度のメーザー源を観測する予定です。

ネットワークはどのような形で活用されているのですか。

中川氏: 大きく二つの用途があります。まず一つ目は、観測局を接続して運用するための用途、そしてもう一つは、研究者や学生が観測データにアクセスして解析を行うための用途です。我々のグループでは 2009 年から SINET3 を導入し、鹿児島大と東京・三鷹の国立天文台間を L2VPN で接続しています。



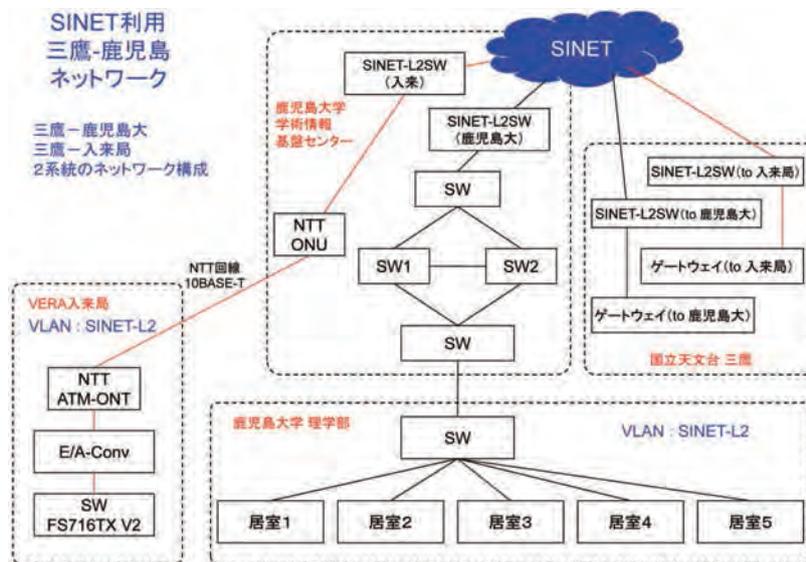
VERA 入来観測局 (鹿児島県薩摩川内市)

SINET3 を導入された理由をお聞かせ下さい。

中川氏: VERA では、各観測局の観測データを一度磁気テープに記録し、国立天文台へ輸送して相関処理を行っています。その後、研究者が利用できる形のデータが作成されるわけですが、以前はこれを DVD に焼いて送付してもらっていました。こうしたプロセスだとどうしても余分なタイムラグが発生してしまいますし、研究の効率も上がりません。もちろん、国立天文台にあるプログラムやデータを直接利用できればいいのですが、以前はネットワークの帯域が狭く、それができなかったのです。何かいい手はないかと思っていたところ、国立天文台の川口先生から SINET の利用を勧められました。

SINET3 を導入した感想はいかがですか。

中川氏: 研究の効率が格段に上がりましたね。大容量の画像データも素早く表示されますし、データのやりとりも簡単に行えます。我々研究者にとって、ストレスなくデータを活用できるというのは非常に大きなメリットです。また、国立天文台と入来局間の接続を、フレームリレー網から SINET3+ 商用光回線に変更することで、観測局の運用がより容易になるなどのメリットも生まれました。



三鷹・鹿児島大学・入来ネットワーク概念図

今後の展開についてもお伺いしたいのですが。

中川氏: 現在我々が大きな課題として掲げているのが、ネットワークを利用したリアルタイム相関処理の実現です。VERA の観測データは一観測局あたり 4.2TB にも達しますので、先にも述べた通り磁気テープの輸送に頼らざるを得ないのが現状です。しかし、これをネットワークで送ることができれば、研究効率をさらに高めることができます。この分野でも海外にライバルが数多く居ますから、日本の国際競争力を向上させる上でも大きな意義があります。そういう意味では、SINET の今後に掛ける期待も非常に大きいですね。また、私個人としては、VERA を利用した研究テーマである「宇宙の距離を測る新しいもの差し作り」に力を入れ、鹿児島から最新の天文学を発信していきたいと思います。

ありがとうございました。

関連 URL 国立天文台 VERA プロジェクト

<http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/index-J.html>

鹿児島大学 宇宙物理学グループ 中川亜紀治

<http://astro.sci.kagoshima-u.ac.jp/omodaka-nishio/member/nakagawa/index.html>

【環境・気象・地球科学・遺伝学】

- 12. 遺伝子情報の大容量化を支える計算機ネットワーク**
(国立遺伝学研究所)
- 13. 衛星データの受信・処理・アーカイブおよびデータ配布**
(千葉大学 環境リモートセンシング研究センター)
- 14. 全国地震観測データ流通ネットワーク「JDXnet」の構築・運用**
(東京大学 地震研究所 地震予知情報センター)
- 15. VLBI 観測による超大容量観測データの国際共有**
(国土地理院)

12. 遺伝子情報の大容量化を支える計算機ネットワーク

国立遺伝学研究所

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所では、国際的な塩基配列データベースである「DDBJ」(DNA Data BANK of Japan:日本 DNA データバンク)の構築・運用とパソコンによる計算機サービスを提供しています。その活動内容と SINET の役割について、国立遺伝学研究所 大量遺伝情報研究室 教授 中村 保一氏と、同 遺伝子発現解析研究室 助教 小笠原 理氏にお話を伺いました。

(インタビュー実施:2013年11月14日)

まず、遺伝学研究所の概要について教えてください。



中村氏:1949年に設立された遺伝学研究所は、日本の生命科学分野における中核研究機関として様々な研究を行っています。また、大学共同利用機関として全国の研究者に共同研究の機会や施設を提供すると同時に、総合大学院大学 生命科学研究化の遺伝学専攻も担当しています。遺伝学に関わる先端研究や教育を、総合的に行う機関と思って頂ければ良いのではないのでしょうか。

具体的な事業内容としては、まず「バイオリソース(生物遺伝資源)事業」が挙げられます。ここではマウスやショウジョウバエといった学術研究用生物の開発・収集・提供を行うと共に、生物遺伝資源データベースの構築と公開運用も進めています。2つめは「先端ゲノミクス推進事業」で、最先端の次世代シーケンサーを導入してゲノム情報の解析などを行っています。そしてもう一つが、私も携わっている DNA 塩基配列情報の国際的なデータベース「DDBJ」です。

小笠原氏:塩基配列の決定方法であるサンガー法が開発されたことなどをきっかけに、今後は大量の塩基配列データが生成されていくであろうことが決定的となりました。欧米ではこうした動きに対応すべく国際的なデータベースを作ろうという機運が高まったのですが、日本にもこの取り組みに参加して欲しいという要請があったのです。現在 DDBJ では、米国の NCBI (National Center for Biotechnology Information:国立生物工学情報センター) が提供する「GenBank」、欧州の EMBL-EBI (European Bioinformatics Institute:欧州バイオインフォマティクス研究所) が提供する「ENA」と共同で「INSD (International Nucleotide Sequence Database:国際塩基配列データベース)」を構築・運用しています。



DDBJ の活動目的や意義についても伺いたいのですが。

中村氏:遺伝子の塩基配列情報は、生物学や医学、農学など幅広い分野の研究と関連しています。そして研究を行っていく上では、様々な現象がどの塩基配列と関連しているのかを解き明かすことが重要なポイントとなります。たとえば生物の進化で言えば、様々な生物の塩基配列を比較して違いを調べ、並び方が似ていれば進化の系統上で近い位置にある、大きく違っていれば遠い位置にあるといったことが分かってくるわけですね。とはいえ、その塩基配列データがどこかにきちんとアーカイブされていないと、情報の再利用も繰り返し実験もできません。その点、DDBJ に蓄積された塩基配列データには、統一的な ID が割り当てられており、採取された場所や生物の部位といった付随データも整理されています。これを利用することで、研究を正確に効率よく進められるというわけです。ちなみに、遺伝子に関連した学術論文を書く場合には、DDBJ、GenBank、EMBL のいずれかの ID を明記することが求められます。

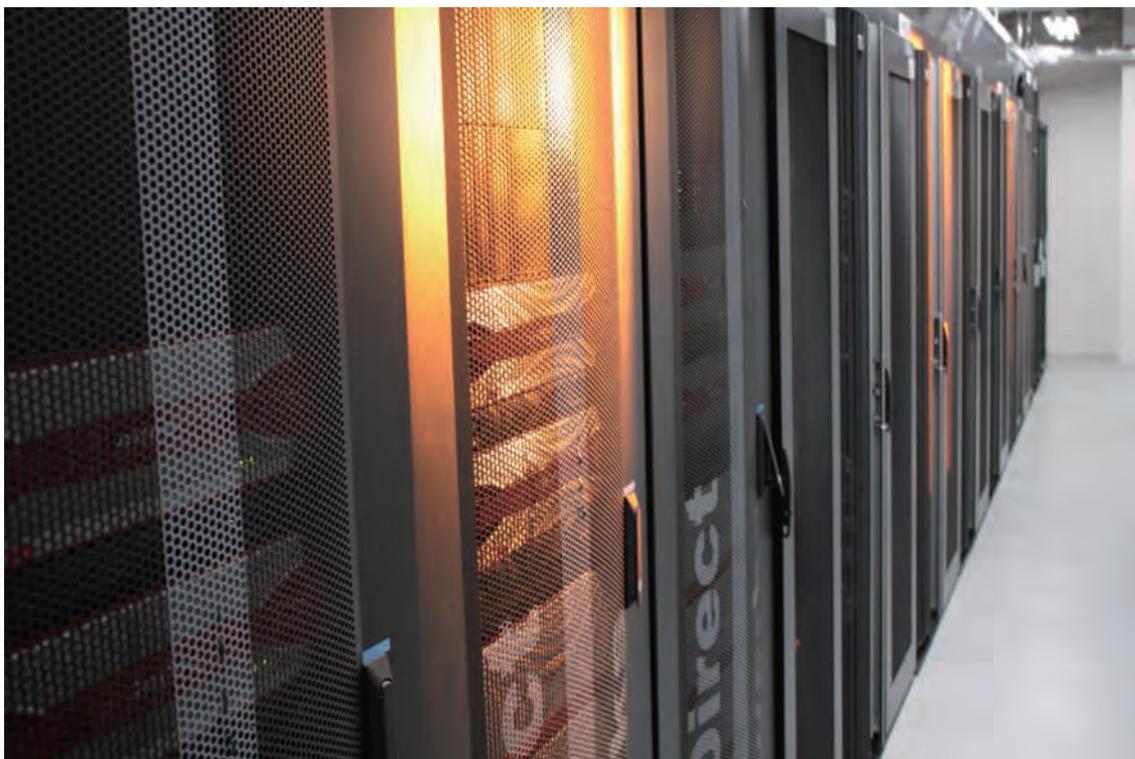
この分野では研究データの大容量化が加速度的に進んでいるとのことですが。

中村氏: その大きな要因となっているのが、塩基配列の決定に利用するシーケンサーの飛躍的な性能向上です。特に次世代シーケンサーと呼ばれる最新の装置では、以前の装置より4～5桁も性能が上がっています。これに伴って、アーカイブに登録されるデータの容量も増える一方です。しかも、INSDでは、DDBJ、GenBank、EMBLの三極で全て同じデータを持つようにしていますから、各機関同士でコピーするデータも相当な容量に上ります。なお、遺伝研ではスパコンを利用した計算機サービスも提供していますが、こちらに求められる能力もどんどん高くなっていますね。

研究を支えるICTインフラにも相当な負荷が掛かりそうですね。現在はどのような環境を構築されているのですか。

小笠原氏: まずスパコンについては、次世代シーケンサーへの対応を図るために、今回の調達からアーキテクチャを見直して業務ソフトウェアも全面的に書き換えました。その結果演算性能も大幅に強化され、旧スパコンの理論ピーク演算性能20TFLOPSに対して現在は169TFLOPSを達成。中間増強後は366TFLOPSにまで向上する予定です。ストレージについても同様で、ディスク0.65PB／テープ0.75PBだった旧スパコンに対し、現在は計算用2PB／アーカイブ用3PBの容量を確保。中間増強後はそれぞれ7PB、5.5PBに拡張される予定です。

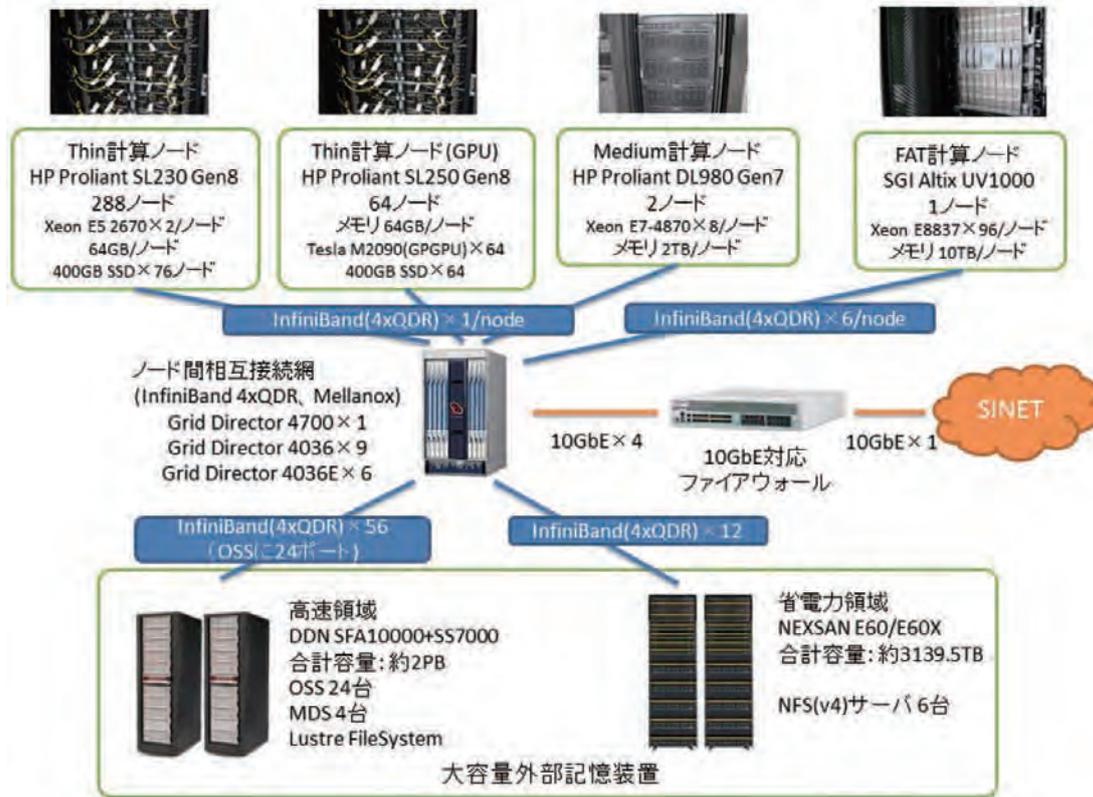
システム面での特徴としては、とにかくI/O負荷が重いという点が挙げられますね。多い時には一日50万件ものデータが登録されますし、データベースのインデックスを作るのも結構厳しい。そこで並列分散ファイルシステムのLustreを使うなど、I/O処理の高速化にはかなり気を遣っています。ちなみに計算機ノードとしては、10TBのメモリを搭載したFat nodeが1ノード、2TBのメモリを搭載したMedium nodeが2ノード、その他に64GBのメモリを搭載したThin nodeが352ノード稼動しています。



NIG SuperComputer

ネットワークについてはどうでしょう。

小笠原氏: DDBJには約1100名近い研究者の方々がユーザーとして登録されており、毎日のように塩基配列データのアップロードやスパコンを利用した解析作業が行われています。また、その他にGenBankやEMBLとのデータ交換も行いますので、研究所内のトラフィックよりも外部とのトラフィックの方が格段に多い状況です。DDBJの情報やスパコンの計算機資源は日本のDNA研究を支える重要な基盤ですから、ネットワークにも高い性能と信頼性が要求されます。その点、SINETがこの部分をしっかりと支えていますので、研究者の方々にも安定的なサービスを提供できています。現在は常時3～4Gbpsの帯域を利用していますが、ネットワークに関する不満は感じないですね。



ネットワーク図 (2012年時)

最後に今後の展開について伺えますか。

中村氏: DDBJとしては、今後も大量の塩基配列データの確実なアーカイブや、計算機資源の提供が重要なミッションとなります。とはいえ、何度も触れている通り、データの大容量化やシーケンサー/計算機の高性能化はとどまる気配を見せません。ネットワークの帯域もあればあるだけ使いたいような状況ですので、SINETの今後の発展にも大いに期待しています。

ありがとうございました。

13. 衛星データの受信・処理・アーカイブおよびデータ配布

千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

千葉大学 環境リモートセンシング研究センターは、衛星データの受信・処理・アーカイブおよびデータ配布などを行う全国共同利用施設です。その活動内容と SINET が担う役割について、同センターの樋口 篤志 准教授に伺いました。

(インタビュー実施:2008年6月27日,更新:2010年1月15日)

まず、千葉大学 環境リモートセンシング研究センターの概要についてお聞かせ頂けますか。

樋口氏:当センターはリモートセンシング技術の確立と応用に関する研究を行う全国共同利用施設として、1995年に設立されました。もともと千葉大工学部には、写真や印刷、画像などの分野で長い歴史と伝統があり、当センターも1986年に設置された「映像隔測研究センター」をルーツとしています。一般的に、研究センターでは、取り扱う「事象」や「現象」を名称とするケースが多いですが、当センターではリモートセンシングという「手段」をセンター名として名乗っています。これは全国的に見てもユニークなのではないでしょうか。



具体的な活動内容を教えていただけますか。

樋口氏:我々の業務としては、まず、「ひまわり」をはじめとする各種衛星の観測データを受信し、アーカイブやデータ配布を行うことが挙げられます。衛星画像の解析を行うことで、大気や海洋、水循環など、地球表層に起きている変化を理解することができます。そのための素材となるデータを、世界中の研究者・研究機関に対して、Web や ftp で提供するのが我々の役目というわけです。もちろん衛星データをそのまま公開するだけでなく、様々な処理を施してデータを高度化するというも行っています。

また、当センター自身でも、いろいろな研究活動を展開しています。たとえば、2007年から、東京大学 気候システム研究センター、名古屋大学 地球水循環研究センター、東北大学 大気海洋変動観測研究センターと連携して、地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーを形成しています。各センターの名称を見てお分かりの通り、それぞれが得意分野を持つ専門集団です。こうした複数のセンターが連携して研究を行うことで、地球気候系診断の進展や学生の教育に大きな効果が期待されています。当センターでも、日本・米国・欧州・中国の静止気象衛星の観測データを1時間間隔で受信し、全球静止気象衛星データセットの作成と公開を目指しています。



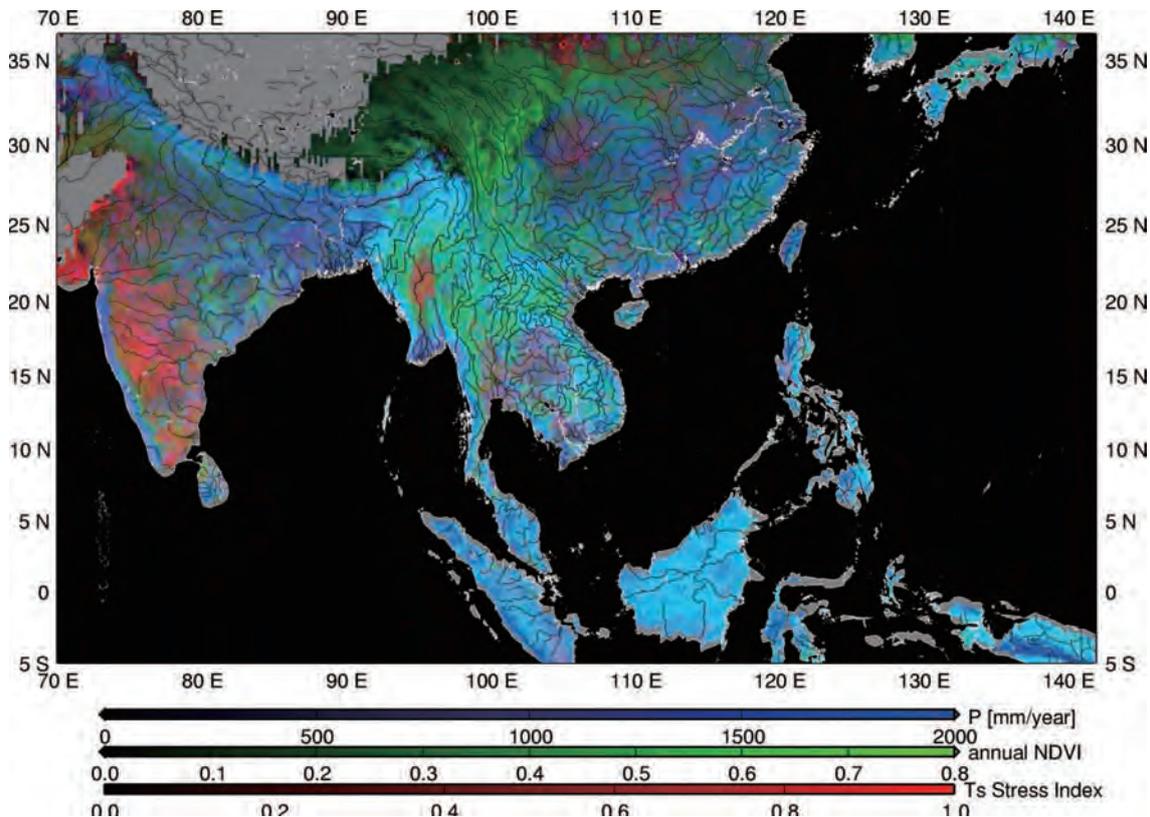
中国静止気象衛星 FY2 データを受信するためのアンテナ

こちらで提供されている観測データは、誰でも自由に利用できるのですか。

樋口氏:特に利用制限は掛けていませんので、研究上必要であればどなたでもご利用いただけますよ。大学や研究機関だけでなく、企業の方でもご利用頂いて結構です。これまでの利用実績を見ると、年間で約10万件のデータがダウンロードされています。利用形態も様々で、特定の日時だけを指定して持っていく場合もあれば、まとめて大量のデータを持っていく場合もあります。日本国内だけでなく、海外からの利用も結構多いですね。

衛星の観測データを蓄積していくとなると、研究で取り扱うデータ容量はかなり膨大になるのではないですか。

樋口氏:そうですね。中には数メートル単位の解像度で画像を取得する衛星もありますし、500m～1kmの解像度で全球のデータを取ってくるものもあります。こうしたデータを集めて計算処理をするのにも一週間、二週間と掛かりますが、その前段階のデータを集めるところがまず大変ですね。実際、一枚の図を作るのに必要なデータが50TBとかだったりしますので。



熱帯降雨観測衛星 TRMM で計測された降水量を青、地球観測衛星 NOAA/AVHRR で得られた植生指標（植物の活性度を示す）を緑、同じく NOAA/AVHRR で得られた熱ストレス（表面温度が 35°C を越えた頻度）を赤に割り振り、合成したもの
© 千葉大学環境リモートセンシング研究センター衛星気候学研究室（樋口研）

そうすると、大容量データに耐えられるシステム / ネットワークが必要ですね。

樋口氏:毎日毎日数十 GB 単位でデータが増えていきますから、一番大変なのが、やはりデータを溜めておくためのストレージです。昔は磁気テープライブラリ装置を利用していたので、データのハンドリングが結構大変でした。そこで、現在ではハードディスクを主体としたストレージシステムを構築して運用しています。

また、もう一つ大事なのがネットワークです。当センターのデータを外部に対して公開する上でも、我々が研究に必要なデータを外から取ってくる上でも、ネットワークが遅いとどうにもなりません。極端な例で言うと、海外のサイトから研究に必要なすべての衛星データを取ってくるだけで、一年掛かりの作業になったりするので。ネットワークのスピードが倍になれば、これが半年で済むわけですから、国際的な競争力を上げていく上でも大いに役立ちます。当センターの活動においては、大容量のストレージと並んで、高速なネットワーク環境が必須と言えます。



衛星データをアーカイブするシステム群

ネットワークの速さが、研究のスピードを左右する時代になっているんですね。

樋口氏: その通りです。しかもストレージは買ってくれば増やせますが、ネットワークばかりは我々が頑張ってもどうにもなりません(笑)。幸い現在では、千葉大学 総合メディア基盤センターの協力もあり、SINET の 1Gbps 回線を利用して研究や各種のサービス提供を行っています。回線の帯域が太くなることで、研究者の活動にも良い影響が出るのではと思っています。

SINET の信頼性、安定性についての評価はいかがですか。

樋口氏: おかげさまで、非常に安定して使えています。特にトラブルで困ったりする様なこともないので、普段はほとんど意識せずに利用していますね。個人的な感覚としては、「電気・水道・ネットワーク」といった感じです。もっとも、研究用途として考えれば、水道よりもネットワークの方が、万一の際のインパクトは大きいでしょうね。大学の水道が半日止まってもそれほど困りませんが、ネットワークが半日止まったら大変ですから(笑)。

最後に今後の展開について伺えますか。

樋口氏: 最近では様々な目的の衛星が打ち上げられていますので、今後もできるだけ多くのデータを蓄積していきたい。現在は使われていないデータでも、どこかで新しい発見があれば、突然宝の山に化けるかも知れません。そのためには、とにかくデータを溜めておくことが必要です。研究者が「こういうデータを使いたい」と思ったときに、当センターが書庫のような形で貢献できれば幸いです。また、先にも触れた通り、研究には高速なネットワークが欠かせませんので、SINET にも大いに期待しています。

ありがとうございました。

14. 全国地震観測データ流通ネットワーク「JDXnet」の構築・運用

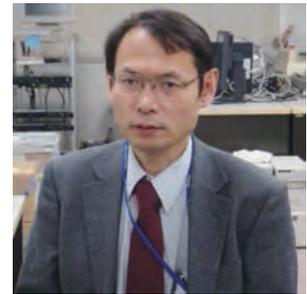
東京大学 地震研究所 地震予知情報センター

東京大学 地震研究所では、全国の国立大学や気象庁、防災科研、海洋研究開発機構などと共同で、全国地震観測データ流通ネットワーク「JDXnet」の構築・運用を行っています。このネットワークが持つ意義と SINET の役割について、東京大学 地震研究所 地震予知情報センター(*) 教授 鷹野澄氏(**)と、同 助教 鶴岡 弘氏にお話を伺いました。

(*現在は地震火山情報センターに名称変更)(**現在は、東京大学情報学環総合防災情報研究センター教授で地震研究所教授を兼務)
(インタビュー実施:2008年12月4日)

まず、東京大学 地震研究所の概要について教えてください。

鷹野氏: 当研究所では、地震や火山現象の科学的解明と、これらの現象が引き起こす災害の軽減を目指して、総合的な研究・教育を進めています。現在は4部門・5センターと、研究所の活動を支援する室・部で構成されており、我々が所属する地震予知情報センターは、全国の大学の地震予知研究情報ネットワークの全国センターとしての任を負っています。具体的には、「地震観測データ等の収集・提供」「データ流通網や全国共同利用計算機の整備・運用」「IT 技術を活用した地震防災情報システムの研究」などの活動を行っています。



地震観測データ流通については、かなり以前から取り組みを行われているようですが。

鷹野氏: そうですね。少し歴史的なお話をすると、昔は全国の各大学や気象庁、防災科研などの機関が、それぞれに観測ネットワークを展開していました。これらの観測点のデータをお互いに共有しようということで、90年代初頭から取り組みを開始しています。現在のようなネットワークインフラが無かった時代には、9600bpsの専用線を引いて近隣の大学同士でデータ交換を行ったりしていました。1993年からTCP/IP方式を用い、64Kbps専用回線やSINETを利用したデータ交換に変更し、1997年からは、9大学共同で衛星を利用したテレメタリングシステムの運用を開始。これにより、全国的なデータ共有や共同研究に弾みが付きました。

その後、現在の JDXnet が構築されたわけですね。

鷹野氏: はい。衛星を使ったシステムも導入から10年が経過し、老朽化などの問題が目につくようになってきました。その一方で、地上のネットワーク環境が飛躍的に良くなってきたため、何かもっといい方法はないかと検討していたのです。ちょうどそんな時に、JGN2のテストベッドが利用できることを知り、地震観測データ流通のための広域L2網の構築に着手しました。

L2VPNを採用されたのには、何か理由があったのですか。

鷹野氏: 我々の研究では、数多くの大学や機関との間でデータ交換を行います。これをいちいち1:1でつないでいたのでは、設定が複雑になる上に運用も大変です。そこで目を付けたのが、L2のブロードキャストを利用する方法でした。各大学・機関がそれぞれの観測データを広域L2網にブロードキャストすれば、自然にすべてのデータを交換することができます。もしダメだった場合は、L3のマルチキャストを利用しようかと考えていたのですが、幸い実験の結果うまくいったので、この形で運用を開始しました。

ネットワークに対する要件としては、どのような点が挙げられますか。

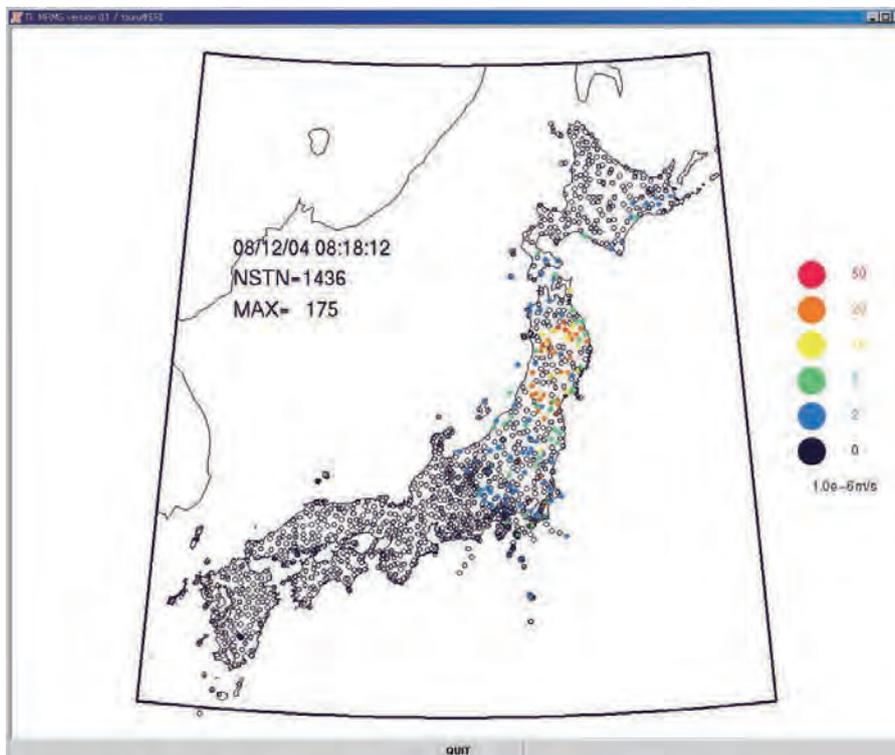
鶴岡氏: このネットワークは全国の地震研究のインフラですし、24時間・365日観測データが流れ続けています。それだけに、「止まらないネットワーク」であることが、非常に重要なポイントです。もしデータが取れなかったりしたら、後から解析を行うこともできませんしね。ちなみに、各拠点に設置する地震データ集配信サーバなどの機器については、まず我々のところで十分なテストを行ってから導入しています。



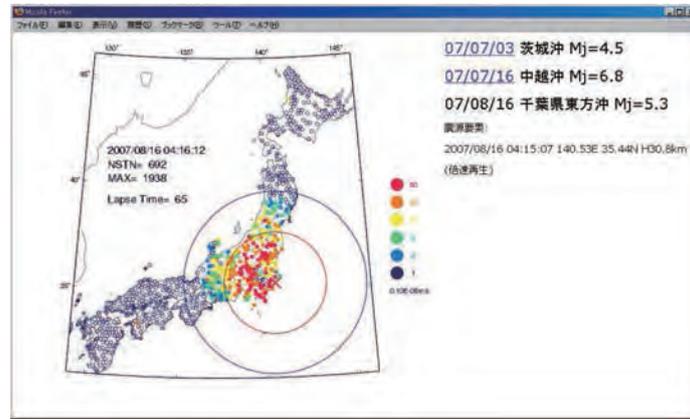
JDXnet を流れる観測データは、どのような形で活用されているのですか。

鷹野氏: 現在 JDXnet では、全国約 1,300 カ所に上る観測点の地震データが流通しており、各大学・機関では、これらのデータをリアルタイムで研究に活用することができます。また、「リアルタイムである必要はないが、後から解析を行いたい」といったニーズに備えて、各地域の地震データをアーカイブした研究者向け Web サイトも、全国 9 大学で公開しています。たとえば、岩手・宮城内陸地震のデータを解析したいと思ったら、東北大学の Web サイトへ行けばデータを手し研究することができます。さらに一般向けには、防災科研の Hi-net の Web サイトでも利用可能ですし、気象庁では、地震の震源・マグニチュードを決定する際に、JDXnet のすべての機関の地震データを使用しています。このように、様々な形で活用が行われています。

鶴岡氏: たとえば、私の場合は、JDXnet を利用して、地震のメカニズムをリアルタイムで決定する研究を行っています。地震が発生するメカニズムには、逆断層型や正断層型や横ずれ型など、いくつかの種類がありますが、これらのどの種類で発生した地震なのかを、素早く決定する研究をしているわけです。もちろん、オフラインのデータを使ってもメカニズムは決定できますが、その都度必要なデータを自分で探したり、集めたりしなくてはならず、時間がかかってしまいます。その点、観測データをリアルタイムに得られれば、迅速かつ効率的にメカニズムを決定できるというわけです。JDXnet のような仕組みがあることで、研究者の意識やモチベーションも高まると思います。



リアルタイム地動モニター（地震観測データの監視）



地震発生時の地震波動伝播の例

SINET3 の L2VPN サービスも新たに導入されましたね。

鷹野氏:先にも話があった通り、このネットワークには非常に高い信頼性が要求されます。SINET3 の基幹ネットワーク図を見ると高い信頼性が期待できたので、SINET3 の L2VPN サービスを利用して JDXnet のデータ交換網を構築したいと思いました。また JGN2 も利用して、通信経路の二重化を図ることにしました。これにより、もし片方に何らかの回線障害が発生したとしても、データを止めることなく流し続けられるようになりました。

また、SINET3 のメリットとして、ネットワークのカバーエリアが広いという点が挙げられます。基本的にデータ交換はブロードキャストで行っていますが、中には広域 L2 網に直接参加できない大学もあります。そうした場合は、拠点となる大学とフレッツ網をつないで、データを中継してもらっているんですね。その点、SINET3 は全国の大学をカバーしていますので、今までよりも多くの大学が直接広域 L2 網に参加することができます。さらに、「自前では観測点は持っていないが、観測データをリアルタイムで活用したい」という大学に対しても、SINET3 経由でデータを提供することができます。日本の地震研究を活性化していく上で、こうした環境が実現できた意義は非常に大きいと言えます。



今後の地震研究にも大いに役立ちそうですね。

鶴岡氏:現在 JDXnet には観測データのみを流していますが、将来的にはそれ以外の情報、たとえば地震データを加工したデータや、そこから得られた様々な情報なども流せるようになっていきたいですね。そうすれば、今とは違った形での情報活用が実現していくことと思います。

鷹野氏:私は地震観測データ流通の仕組みを長年研究していますが、今回のような環境が実現したことで、また新たな可能性が広がったと感じています。もっとも、こうした仕組みをさらに発展させていくためには、データだけでなく「人」のネットワークも欠かせません。今後引き続き、研究者のネットワーク作りにも、力を注いでいきたいと思っています。

ありがとうございました。

15. VLBI観測による超大容量観測データの国際共有

国土地理院

国土交通省 国土地理院では、VLBI によって取得される大容量観測データの国際共有に SINET3 を活用しています。測地 VLBI におけるネットワーク重要性と現在の事業活動について、国土交通省 国土地理院 測地部 宇宙測地課 超長基線係長 栗原 忍氏にお話を伺いました。

(インタビュー実施: 2009年7月9日)

まず、国土地理院における VLBI の目的について教えてください。



栗原氏: ご承知の通り、国土地理院は測量と地図の作成を担う国の機関です。昔は紙の地図が主体でしたが、最近では様々な情報を電子化することにより、国民生活へのさらなる活用を図っています。2007年には、そのための法律として、地理空間情報活用推進基本法も施行されました。VLBIは、こうした測量や地図を作成する活動の中でも、もっとも最初のフェーズにあたります。その具体的な目的としては、「1. プレート運動を監視する」「2. 世界と地球の位置を知る」「3. 地球の姿勢を図る」「4. 国際協力を支える」の4点が挙げられます。

4つの目的の内容についてご紹介頂けますか。

栗原氏: まず1番目のプレート運動観測ですが、地球表面はいくつかのプレートに分かれており、それぞれに運動をしています。たとえば、太平洋プレートは、日本海溝付近で北アメリカ(オホーツク)プレートを引きずりながらその下にもぐりこんでおり、いわゆるプレート境界型地震の原因になっています。VLBIによるプレート運動の観測は、こうした地震の調査・予測の基礎となるのです。プレートの動きは年間数センチ程度と極めて小さなものですが、VLBIを利用すればミリメートル精度で正確に計測することができます。ちなみに、日本・ハワイ間の距離は毎年約6cmずつ短くなっていますが、こうしたことが分かったのもVLBI観測の成果です。

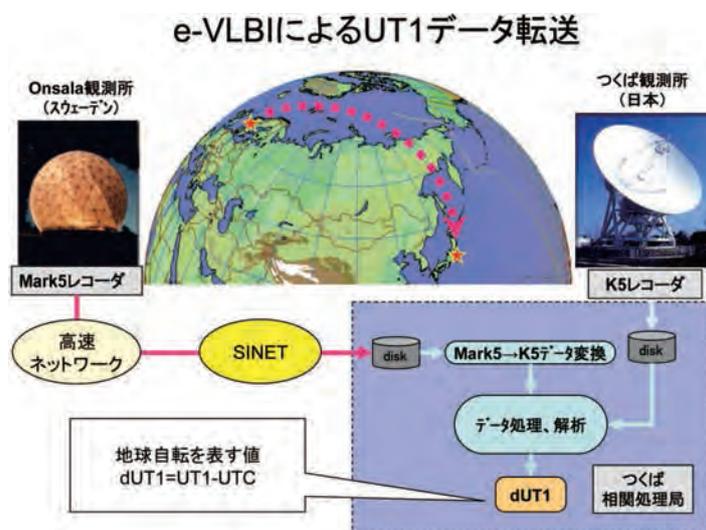
2番目は、世界の経緯度や測量の基準を定めるためのものです。ここではVLBIのほかに、SLR(衛星レーザー測距)やGPSなどの技術も用います。SLRはミラーボールのような人工衛星にレーザー光線を当てて距離を測る技術で、これを繰り返すと地球重心の位置が求められます。さらにVLBIで観測した距離の情報などを加え、世界中のGPS観測局に対してx, y, zの座標値を与えます。さらに、これらのデータを集約して構築したのがITRF(国際地球基準座標系)です。ITRFはVLBIのような科学的観測によって実現された全世界共通で利用できる測地基準系で、「世界測地系」と呼ばれます。日本では、以前は明治時代の技術を元に作られた測地基準系を使っていたのですが、現在ではITRFを基にした世界測地系へ変更されています。

3番目の地球姿勢観測は、地球の自転や自転軸の振る舞いを測定するものです。地球の自転軸はずっと同じ位置で静止しているのではなく、直径10m程度の円を描いており、「極運動」と呼ばれます。宇宙空間のロケットや人工衛星などの制御には、そのときの地球の正確な姿勢を知る必要があります。以前NASAが探査機を火星に着陸させた際にも、つくばのVLBI観測データが役立てられました。また、自転の速さもびったり24時間というわけではなく、1周するのに平均約2/1000秒ほど長く掛かっており、それも時々刻々と変化しています。日常使われている時刻は原子時計に基づくものですが、地球の自転に基づく時刻(UT1)と原子時計に基づく時刻(UTC)との差を補正しないと、遠い未来には、例えば正午になっても太陽が東の空にあるといった現象が生じてしまいます。これを補正するために、VLBI観測で測定された正確な地球自転をもとに、いわゆる「うるう秒」が挿入されます。

最後の国際協力ですが、測地VLBIにおいては、世界中の国や機関との連携が非常に重要になります。そこで国土地理院でも、1999年に設立されたIVS(国際VLBI事業)に参画し、中核機関として様々な活動を行っています。



世界の主な VLBI 観測局

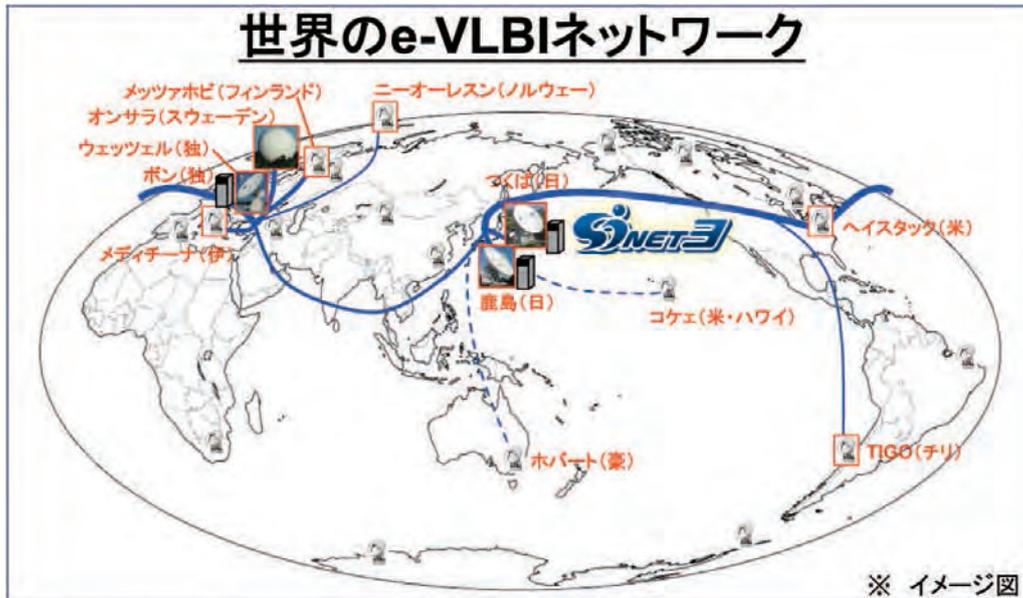


VLBI 観測ではネットワークが果たす役割も大きいとのことですが。

栗原氏: そうですね。以前はデータ記録媒体に磁気テープを使用しており、相関処理を行うためには記録媒体を物理的に輸送する必要がありました。ドイツから送られてくる磁気テープを少しでも早く受け取るために、国土地理院の職員が成田空港で待ち構えていたこともあります(笑)。しかし、ネットワークを利用した VLBI「e-VLBI」が実用化されたことで、記録媒体をわざわざ輸送する必要がなくなりました。VLBI の観測データは非常に大容量であり、週 1 回行われる 24 時間観測では、観測 1 回あたりのデータ量が約 1TB にも達します。こうした大容量データを短時間でやりとりするためには、高速なネットワークが欠かせません。

そこを SINET3 が支えているというわけですね。

栗原氏: はい。日本における e-VLBI の歴史を振り返ると、1990 年代に、通信総合研究所 (現 情報通信研究機構, NICT) が ATM の専用回線を利用したデータ転送で測地 VLBI 実験を実施しました。国土地理院では、観測装置の制御や監視のために、ISDN や IP-VPN を利用してきましたが、128Kbps 程度の通信速度では 1TB を超える観測データを送ることは現実的ではありません。2004 年に GEMNet2 や Super-SINET を利用し、本格的に海外への観測データ転送を開始しました。さらに 2008 年からは、SINET3 の 1Gbps 回線を e-VLBI を支える基幹ネットワークとして活用し、ドイツ、スウェーデン、ノルウェー、アメリカなど、世界各地の観測局とネットワークを結んでいます。



SINET3 を利用するメリットとしては、どのような点が挙げられますか。

栗原氏: 先に述べた大容量データが転送できるということ、それと、よりリアルタイムに近い観測が可能になった点ですね。たとえば、2008年に、国土地理院、NICT、オンサラ観測所（スウェーデン）、メツァホビ電波観測所（フィンランド）の4機関共同で行った実験では、1時間の観測後、3分45秒で地球自転の速さを表すdUT1の値を算出しました。これは、おそらく世界最速だと思われます。さらに、つくばではBKG（ドイツ連邦地図測量庁）のWettzell観測局と毎週末ごとに地球自転の速さを測る観測を行っています。土日の観測データをリアルタイム転送して観測中にデータ処理を実施することで、観測終了後数分以内に観測結果を算出することができます。磁気テープや磁気ディスクをいちいち空輸していたのでは、とてもこうはいきません。

関連 URL <http://vlbldb.gsi.go.jp/sokuchi/vlbi/ja/ultra-rapid/>

SINET3をはじめとする世界中の学術ネットワークが、e-VLBIの発展に大きく寄与しているというわけですね。

栗原氏: その通りです。VLBIにおいて、ネットワークの帯域はいくらあっても困ることはありません。帯域が広くなれば、それだけ観測の精度やスピードを高めることができます。現在も600Mbpsの実効転送速度を確保できており、1TBのデータも数時間で転送することが可能です。今後、サンプリング装置の高性能化などに伴って、どんどんデータ量は増えていきますので、SINETの進化にも大いに期待していますね。我々も国際的なVLBI観測網における日本のプレゼンスをさらに高めるべく、今後も努力していきたいと考えています。

ありがとうございました。

●2分冊の1冊目 終了

●2分冊の2冊目は、次のURLより、
ご覧いただけます。

http://www.sinet.ad.jp/case/sinet_jirei2014_2of2.pdf