

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA における データ転送・保管システムの開発

佐々木幸次[†] 高橋弘毅[†] 大原謙一[‡] 神田展行^{‡‡}

[†]長岡技術科学大学大学院 工学研究科

[‡]新潟大学大学院 自然科学研究科

^{‡‡}大阪市立大学大学院 理学研究科

1 はじめに

アルバート・アインシュタインによって提唱された一般相対性理論の帰結の一つとして、重力波と呼ばれる物理現象の存在が予測されている。重力波とは、質量を持つ物体が加速度運動することによって周りの空間の歪みが波として伝播する現象である。重力波は極めて微弱で物質に対して強い透過性を持つため、いまだに直接観測された事例はない。しかし、近年のレーザを用いた微小計測技術の発展により、ブラックホールや中性子星の連星が合体する時や超新星爆発などの天体現象から放出される重力波を観測することが実現可能になりつつある。重力波を観測することは、一般相対性理論の検証や新しい天文学を開く可能性につながるため、世界各国において重力波を観測するための検出器の開発と、それによる観測が行なわれている。日本では大型低温重力波望遠鏡 KAGRA を岐阜県飛騨市神岡町に建設しており、2017 年には本格的な観測を開始する予定である。KAGRA は坑内（地下）に建設することで地面振動の影響を抑え、低温にすることで熱振動によるノイズを抑えるという、他国の検出器にはない特徴を持つ。

KAGRA におけるデータ転送の流れを図 1 に示す。KAGRA では検出器 (Detector) で取得したデータ (raw data) を神岡坑外解析棟に設置されているシステム (Kamioka) に転送し、神岡坑外のシステムは raw data を解析用のデータ (proc data) に変換する。raw data と proc data は、神岡坑外のシステムから東京大学柏キャンパスに設置されているシステム (Kashiwa) に転

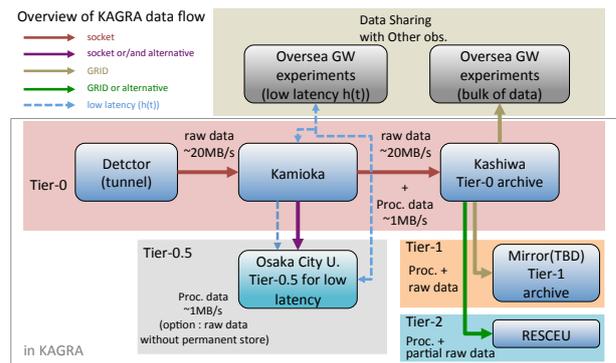


図 1: KAGRA におけるデータ転送の流れ。

送され長期保管される。さらに、神岡坑外から大阪市立大学などの解析を行う機関のシステムへの転送も行う。データ転送の要求速度は 20 MB/s である。また、5 年間の稼働におけるデータ容量の想定値は 3 PB である。データの損失や大きな遅延がないように処理・転送する必要があり、そのためにはデータ処理・転送の稼働状態を把握するためのログを記録・管理する必要がある。

本論文では、KAGRA におけるデータ転送・保管システムの開発状況について述べる。

2 データ転送・保管システムの開発状況

検出器 (坑内)、坑外解析棟、柏の各システムにおけるデータフローを図 2 に示す。坑内に存在する検出器からデータを常時取得し、そのデータはファイルに記録され、図 2 の Detector のシステム内のデータ保管場所にファイルが一定間隔で生成される。データ転送・保管システムが、そのファイルの生成を検知し、検知したファイルの転送を図 2 の流れに沿うかたちで順次開始する。また、稼働状態を把握するためにファイルの転送が正常に完了した場合やファイルの転送に失敗した場合などのログを記録・管理する。

データ転送・保管システムの開発は、主に、ファイル生成の検知、データの転送、ログの記録などのモジュール

Development of Data Management System for KAGRA

Yukitsugu Sasaki[†], Hiroataka Takahashi[†], Ken-ichi Oohara[‡] and Nobuyuki Kanda^{‡‡}

[†]Department of Information and Management Systems Engineering, Nagaoka University of Technology, Niigata 940-2188, Japan [‡]Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

^{‡‡}Department of Physics, Graduate School of Science, Osaka City University, Osaka 558-8585, Japan

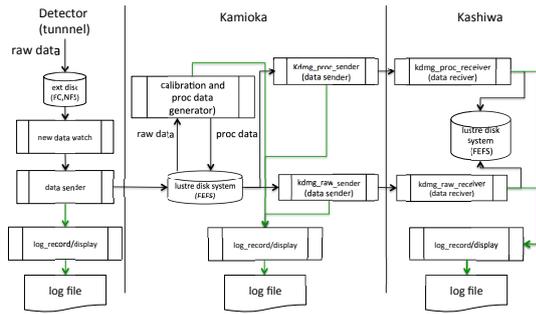


図 2: 各システムにおけるデータフロー。黒矢印はデータの流れ，矢印はログ記録の流れ。

に分けられ，各モジュール間の同期には shared memory を用いて状態監視を行う。KAGRA の計算機は OS が Red Hat Enterprise Linux(RHEL) 6.4 であり，kernel のバージョンは 2.6.31，計算機自身の状態を把握するためのログモジュールには rsyslog が採用されている。これらを念頭に置き，C 言語を用いて各モジュールの開発を行っている。

2.1 ファイル生成検知モジュール

データを遅延なく処理・転送するためにはファイルが新しく生成されたことを即座に検知する必要がある。ファイル生成検知は Linux kernel 2.6.13 にて組み込まれた inotify API を用いている。データ保管場所ではデータ取得中に新たなディレクトリが作られ，そこにファイルが生成されることもあるため，ファイルだけでなくディレクトリの生成も検知し，そのディレクトリにおいてもファイルの生成を監視していくことで，データの転送を行うための，ディレクトリ全てを監視するモジュールの開発を行っている。

2.2 データ転送モジュール

データ転送モジュールには Socket を用いる。KAGRA のシステムにおいて，データ転送試験を行った結果，Socket での転送速度は 1 GB/s を記録し，KAGRA におけるデータ転送の要求速度を満たすことが確認できている。また，SCP の転送速度は 150 MB/s であり，Socket でのデータ転送速度は SCP の約 6 倍であった。

2.3 ログモジュール

データ転送・保管モジュールにおけるログの記録には，計算機自身の状態を把握するログモジュールと分離するために syslog-ng 3.2.5 を用いた。デフォルトでは rsyslog と syslog-ng が共存できない設定となっていたため，計算機の syslog-ng に関する様々な設定を行うことで共存を可能にした。また，通常の syslog 関数では syslog-ng へのログを記録することができないが，独

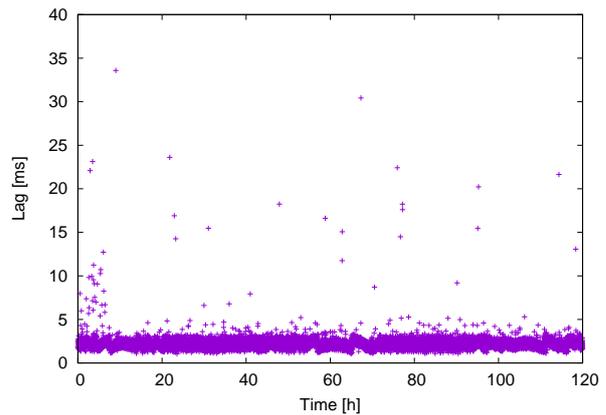


図 3: ファイル生成検知モジュールにおける処理時間。

自の関数を開発することによって syslog-ng へのログを記録することを可能にした。ファイル生成検知モジュールやデータ転送モジュール，shared memory モジュールなどデータ転送・保管システムでは，開発した関数を使用することにより，syslog-ng を介してログの記録を行う。

3 モジュール単体テスト結果の例

各モジュールにおける単体テストの結果の例として，ファイル生成検知モジュールを実行した際の遅延時間の時間推移を図 3 に示す。横軸にファイル生成検知モジュール起動からの経過時間，縦軸にファイル転送を開始した時間とファイルが生成された時間の差を示している。図 3 より，ファイル生成検知モジュールでは時間の遅延がほとんど存在しないこと，長時間運用を行っても性能が劣化しないことを確認できた。同様に，データ転送モジュールは 1 GB/s の速度を記録し，ログモジュールでは 1 秒間に 3000 回ログを出力した場合でも損失・遅延がなく，独自に開発した関数も正常に動作することを確認できた。

4 まとめ

本論文では，大型低温重力波望遠鏡 KAGRA におけるデータ転送・保管システムの開発状況の報告を行った。各モジュールの単体テストの結果より，各モジュールは正常に動作し，損失や遅延の影響がないことを確認した。

今後は，各モジュールの結合試験を行い，全体として動作することを確認する。また，KAGRA で計画されているテスト観測において，開発したシステムが問題を発生させずに動作するか確認し，観測における運用・保守を行っていく。