

令和 2 年度 防衛装備庁
安全保障技術研究推進制度

研究成果報告書

雑音画像中の低輝度移動物体 高速自動検出技術の開発

令和 3 年 5 月

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

本報告書は、防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度による委託業務として、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構が実施した令和2年度「雑音画像中の低輝度移動物体高速自動検出技術の開発」の成果を取りまとめたものです。

1. 委託業務の目的

(1) 研究課題の最終目標

本研究では、CMOS センサーから短時間で得られる大量の画像データに対し、雑音レベル以下の移動物体検出を可能にする高速処理可能なアルゴリズムを開発する。これにより 5 秒に 1 度、1 秒間に 32 枚転送される画像の解析を 5 秒以内に完了する技術を獲得することを最終目標とする。

また、本研究で整備した観測装置を利用して実際の低軌道デブリのサーベイ観測を実施することで、32 枚の連続撮影画像を従来の検出能力を維持しつつ 5 秒で解析できることを確認する。

(2) 最終目標を実現するために克服又は解明すべき要素課題

(1) で示した最終目標を実現するために克服すべき課題は、これまでに JAXA で開発してきた検出アルゴリズムでの検出能力を維持しつつ、解析時間を 1000 倍程度短縮することである。そのためには以下のような要素課題を克服する必要がある。

なお、研究の進捗に伴い、最終目標達成のために「物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズム開発」が必要であることが判明したため④として要素課題に追加する。

① 実験環境の整備

本研究に必要な、CMOS センサー等を利用した宇宙デブリや近地球天体を観測する装置を整備する必要がある。

② 高速化アルゴリズムの開発

CMOS から短時間で大量に得られる画像データに対し、雑音レベル以下の移動物体を高速に検出するアルゴリズム(※)を開発する必要がある。

③ 背景物体除去アルゴリズムの開発

雑音レベル以下の移動物体検出の大きな妨げとなる背景物体の高速除去アルゴリズム(※)を開発する必要がある。

④ 物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムの開発

物体検出後にカタログと比較して行われる既知・未知の判定並びに軌道の決定、運動推定及びサイズ推定を実施するために精度の高い位置及び光度情報が必要である。

(※) ここでいうアルゴリズムとは、ソフトウェア的な計算手法、多数の計算機を利用した並列化、またそれらを専用に行う FPGA や GPGPU 等のハードウェア化も視野にいたった総合的な概念である。

(3) 要素課題に対する攻略手段と実施項目及びそのための体制

① 実験環境の整備

宇宙航空研究開発機構では、天候条件がよい観測サイトとして豪州の Siding Spring 天文台に遠隔観測施設を構築している。当該施設内に本研究に必要な CMOS センサーや解析計算機等を設置するとともに、日本からの遠隔観測体制を整える。具体的には以下の項目を実施する。

1. 1 20cm 級の小型望遠鏡 4 台を同架可能な赤道儀を開発。

1. 2 上記赤道儀に設置可能な光学望遠鏡を 4 台準備。

1. 3 毎秒 32 枚以上の画像取得が可能で、GPS 信号による画像取得開始時刻及び撮影時刻の記録を 1msec の単位で実施できる CMOS センサーを 4 台開発。

② 高速化アルゴリズムの開発

宇宙航空研究開発機構では、雑音レベル以下の移動物体を検出するために、これまで CCD で取得される画像に対して FPGA 等を利用した高速画像処理技術を開発してきた。本技術をさらに発展させ、高速で画像取得が可能な CMOS センサーから得られる大量のデータに対して準リアルタイムで解析を完了するための新たな高速画像処理技術を、①で整備された観測装置から得られる実際の宇宙デブリ等の画像を利用して開発する。具体的には以下の項目を実施する。

2. 1 これまで開発してきた画像処理技術の高速化アルゴリズムの開発
2. 2 既存データを利用した上記アルゴリズムの有効性の検証及び改良点の抽出
2. 3 実観測データを利用した上記アルゴリズムの有効性の検証及び改良点の抽出

③ 背景物体除去アルゴリズムの開発

雑音レベル以下の移動物体検出の大きな妨げとなる背景物体を効率的に除去することは、本研究の成否に大きく影響する。それぞれの画像ごとに異なる撮影条件を効率的かつ高速に判断して均一な背景物体除去画像を作成する画像処理アルゴリズムを新たに開発する。具体的には以下の項目を実施する。

3. 1 背景物体除去アルゴリズム (Image-Subtraction 法) の開発
3. 2 既存データ利用した上記アルゴリズムの有効性の検証及び改良点の抽出
3. 3 実観測データを利用した上記アルゴリズムの有効性の検証及び改良点の抽出

④ 物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムの開発

検出物体の精度よい位置及び光度の決定は、物体の既知・未知判定並びに軌道の決定、物体の運動推定及びサイズ推定にとって大変重要な作業となる。従来、本作業を物体検出後に市販のソフトを利用してインタラクティブに行っており、1 時間ほどの時間を要していた。この作業を自動化するアルゴリズムを開発し、②で実施される高速化アルゴリズムの開発と合わせて、全プロセスの解析時間の大幅な短縮を図る。具体的には以下の項目を実施する。

4. 1 検出物体の位置光度自動計算アルゴリズムの開発。
4. 2 既存データを利用した上記アルゴリズムの有効性の検証及び改良点の抽出
4. 3 実観測データを利用した上記アルゴリズムの有効性の検証及び改良点の抽出

⑤ プロジェクトの総合的推進

各課題の進捗状況を定期的にメンバーが集合して共有するとともに、発生した問題の解決策を課題の枠を超えてその場で議論する。

2. 研究開始時に設定した研究目標の達成度

本研究における最終目標は以下の2点である。

1. CMOS センサーから短時間で得られる大量の画像データに対し、雑音レベル以下の移動物体検出を可能にする高速処理可能なアルゴリズムを開発する。これにより5秒に1度、1秒間に 32 枚転送される画像の解析を 5 秒以内に完了する技術を獲得することを最終目標とする。

2. また、本研究で整備した観測装置を利用して実際の低軌道デブリのサーベイ観測を実施することで、32枚の連続撮影画像を従来の検出能力を維持しつつ5秒で解析できることを確認する。

1 点目については、研究期間を通じてアルゴリズムの高速化、一次解析プロセスの改良、GPGPU

の導入により当初目標の5秒以内を大幅に上回る1.3秒の解析時間を達成した。

2点目については、豪州に整備した観測装置を利用して低軌道デブリのサーベイ観測を実施し、32枚の連続撮影画像を従来の検出能力を維持しつつ1.3秒で解析できることを確認した。

3. 委託業務における研究の方法及び成果

本研究では以下の4点の項目を実施した。

1. 実験環境の整備、2. 高速化アルゴリズムの開発、3. 背景物体除去アルゴリズムの開発、4. 物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムの開発。それぞれについて研究期間全体を通じた研究の方法及び成果を以下に示す。

3. 1. 実験環境の整備

本研究に必要な、CMOSセンサー等を利用した宇宙デブリや近地球天体を観測する装置を整備する必要があることから、宇宙航空研究開発機構が運用している豪州 Siding Spring天文台内遠隔観測施設に本研究に必要なCMOSセンサーや解析計算機等を設置するとともに、日本からの遠隔観測体制を整えた。



図1: 豪州 Siding Spring 天文台内遠隔観測施設に設置された4連望遠鏡及びCMOSセンサー



図2: 豪州遠隔観測施設内に設置されたデータ解析用計算機

データを高速で処理する必要があることから、観測で取得した全画像データを日本に転送することは困難と考え、後述の高速化アルゴリズム及び物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムを含む解析計算機2台を準備し上記観測装置と同様に豪州へ輸送しJAXA遠隔観測施設内へ設置、動作確認を行い豪州でのデータ解析環境を整備した(図2参照)。さらに、上記観測装置及び解析計算機は研究遂行のためには日本から完全リモートで制御及び操作できることが前提となるため、遠隔操作の手法を確立し日本から遠隔で観測及びデータ解析ができることを確認した(図3参照)。

これらの観測装置及び解析計算機を利用して2019年12月16日には低軌道デブリのサーベイ観測を実施した。露出時間10msecで32枚を連続撮像する観測を2秒

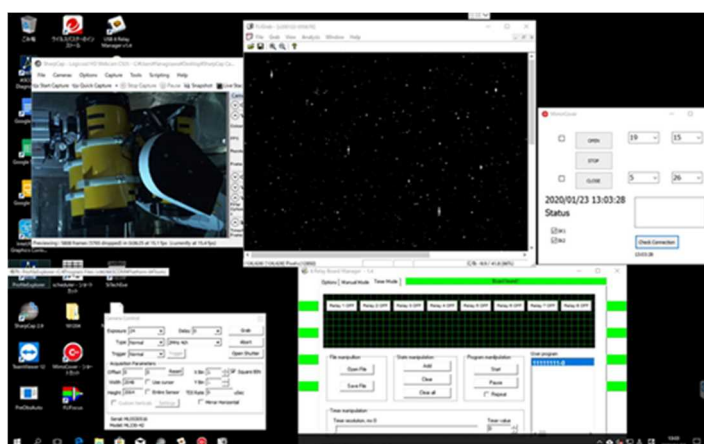


図3: 日本からの遠隔制御画面

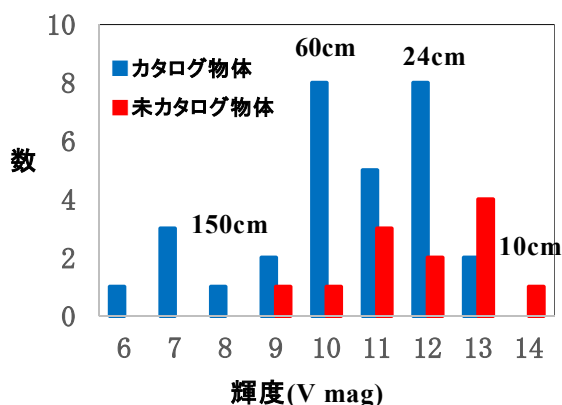


図 4: 豪州遠隔観測施設における低軌道デブリサーベイ観測結果。検出された低軌道物体の輝度分布を示す。横軸は V 等級の輝度、縦軸は数。青はカタログ物体、赤は未カタログ物体である。軌道高度 1000 km、拡散反射、反射率 0.1 を仮定した際のサイズを図内に示す。検出物体の 3 割が未カタログの物体であった。

間隔で90分間行い、データ解析を実施した結果、実視等級14等（軌道高度1000kmで10cm級の物体に相当）より明るい低軌道物体を42物体検出した（図4参照）。そのうち30%にあたる12物体はカタログ

に載っていない物体であった。これほど小さい口径の望遠鏡で90分という限られた時間ないで未カタログの低軌道物体12個を検出できたことは特筆に値する。また、地球接近天体の探索観測も試験的に実施したところ2020年3月17日に10mサイズの地球接近天体「2020FC2」を発見した。これほど小さい地球接近天体の発見は稀である。これらの成果はJAXAのホームページ上で公開するとともに学術雑誌においても発表した。

3. 2. 高速化アルゴリズムの開発

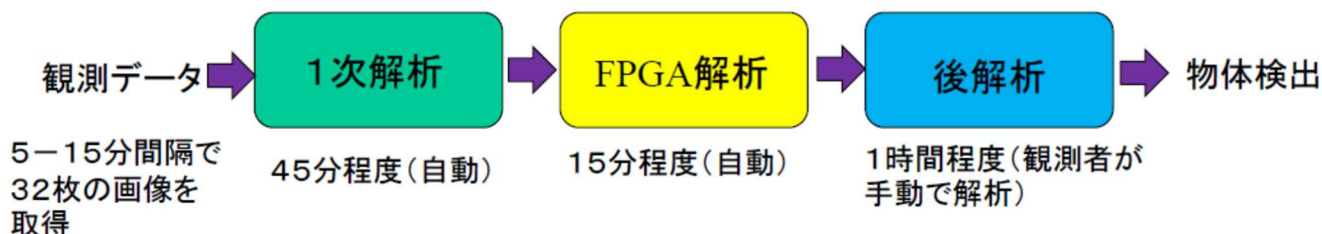


図 5: 本研究における画像解析の流れ

本項目は研究の最終目標に直接関わる重要な項目である。本研究における画像解析の流れを図5に示す。本研究開始前においては一次解析に45分、FPGA解析に15分、後解析に60分の時間を要していた。これらの時間を大幅に短縮するために、アルゴリズムの改良や新規アルゴリズムの開発等が必要になってくる。一次解析については画像の位置補正、マスク処理の簡略化を実施し、開発環境をスクリプト言語perl及び天文専用解析ソフトirafからより高速なC++へと変更、さ

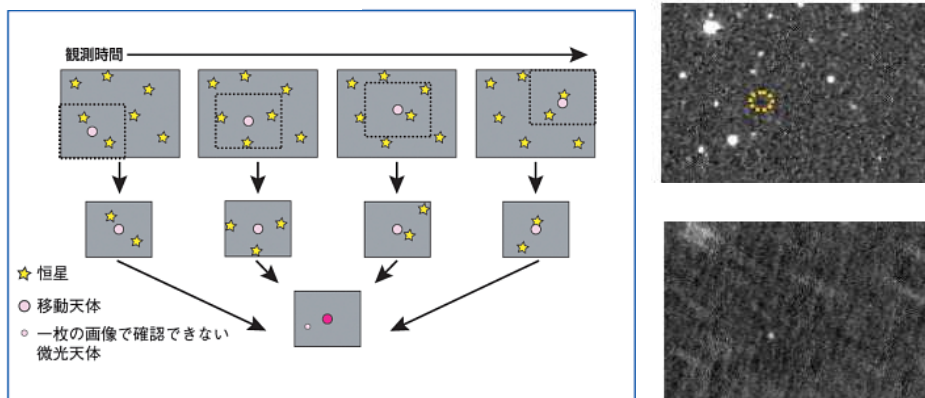


図 6: 本研究において利用される画像解析アルゴリズム。時間間隔を以て取得された数十枚からなる多数の画像を利用。移動物体の移動方向を仮定して画像をきりとり中央値画像を作成することにより信号雑音比を向上させて1枚の画像では認識できないほど暗い移動物体の検出を可能にする。本アルゴリズムの適用例を示す。右上が1枚の観測画像、右下が40枚の画像に対し本アルゴリズムを適用した最終画像になる。最終画像に明るい輝点でしめされた移動物体が検出されている。本物体は観測画像中では黄色の点線円内に存在するはずであるが確認できない。未確認の移動物体を検出するためにあらゆる移動方向を仮定した解析が必要となり膨大な計算時間がかかる。



図 7: 本研究において開発されたジューデップ・アドバンス社製 GPGPU マシン。GPU ボードとして NVIDIA Quadro RTX8000 を 3 枚搭載 (右図)。

施できるアルゴリズムを開発することにより解析時間を半減することに成功した。また、観測する対象 (例えば低軌道物体) においてあり得ない移動量は削除する、離散的な移動量の採用等で重ね合わせのパターン数を 4 分の 1 程度に減らした。入力ファイル形式を ascii コードからバイナリーコードに変更するなどして高速化を図った。さらに、これまで FPGA で実施してきた最もコアとなる 2 値化画像の加算部分を GPGPU マシン (図 7 参照) で実行できるように修正し、大幅な解析時間の短縮が最終年度に可能となった。1 次解析部分はマルチコアマシンの 10 CPU を使うことにより 1.85 秒、FPGA 解析部分は 1.3 秒で実施できるようになった。後解析については後述の 3. 4. 物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムの開発の項で述べる。

3. 3. 背景物体除去アルゴリズムの開発

本研究において、雑音レベル以下の移動物体を検出するためには背景雑音を効率的に除去することは極めて重要になってくる。3. 1. で整備した観測装置で得られる画像には大量の恒星が写りこんでいる可能性があることから Image Subtraction 法という新たな背景除去アルゴリズムを開発した。各画像に特有の大気揺らぎによる恒星のボケ具合をパラメータ化し参照画像をそのパラメータに沿って改変して各画像から引くことにより、理想的には恒星を完全に除去することが可能である。開発した Image Subtraction 法を既存の観測画像に適用してその有効性を確認した。図 8 に Image Subtraction 法の適用例を示す。図 8 左が元画像で右が Image Subtraction 法適用後の画像である。移動物体の検出時に雑音源となる恒星がきれいに除去できていることがわかる。また、Image Subtraction 法適用後の画像において雑音レベルが既存アルゴリズムによるものと比べて同等以下であることを確認した。しかしながら試験観測データを用いた一次解析アルゴリズムの改良をとおしてより高速な解析が要求される低軌道物体観測用

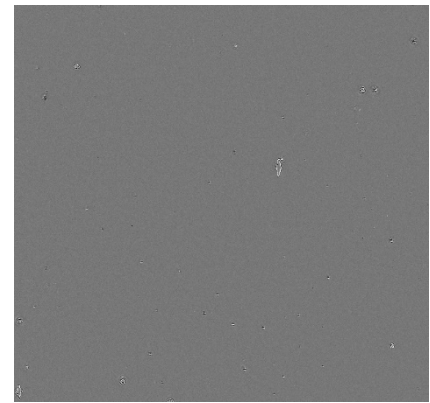
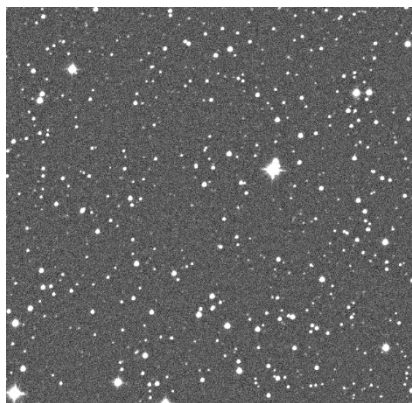


図 8: Image Subtraction 法の適用例。左が元画像で右が Image Subtraction 法適用後の画像。左図の恒星像がほぼ完全に除去されていることがわかる。

らにはマルチコア PC の導入によるプロセスの並列化を実施した。FPGA 解析については図 6 に示すようなアルゴリズムを利用して画像を重ね合わせて信号雑音比を向上させ、1 枚の画像では認識できない非常に暗い物体を検出する。対象の移動量が不明であるために画像をあらゆる方向で重ね合わせる必要があり、膨大な計算時間がかかることが課題であった。これまで FPGA での解析アルゴリズムを開発してきたが CMOS センサーのような 1 秒間に数 10 枚の画像を出力する観測装置への対応はできていない。本研究においては従来 32 枚の画像 1 セット分の解析のみを実施してきたが、新たに 2 セット同時に実施

の画像にImage Subtraction法は必要ないことが判明した。理由として①高速で移動する低軌道物体の観測の露出時間は10msec程度であり背景雑音となる恒星がほとんど写りこまないこと（図8は地球接近天体観測用の画像で露出時間は24秒である。）、②32枚の連続画像撮影期間中（0.32秒）大気揺らぎによる恒星像の変化はほとんどなく、大気ゆらぎに起因する恒星像の変化を考慮したImage Subtraction法はあまり効果を発揮できない、があげられる。このため本項目は初年度で終了することとした。

3. 4. 物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムの開発

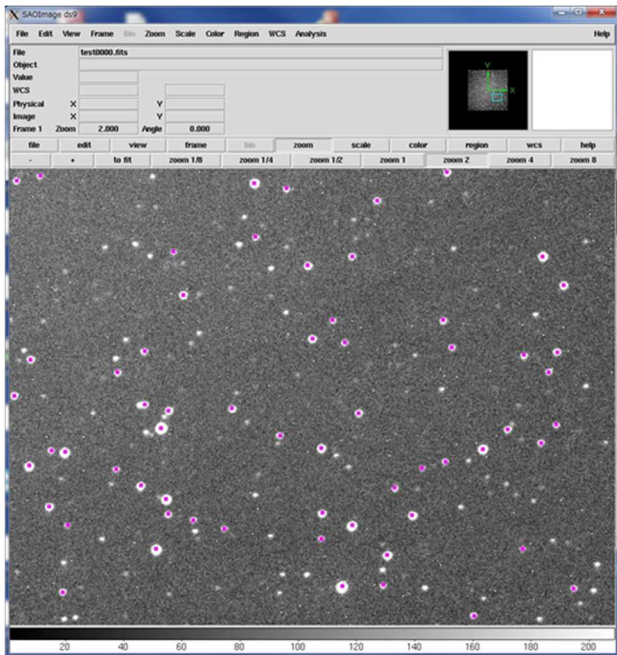


図 9: 観測画像から物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムで検出された恒星。

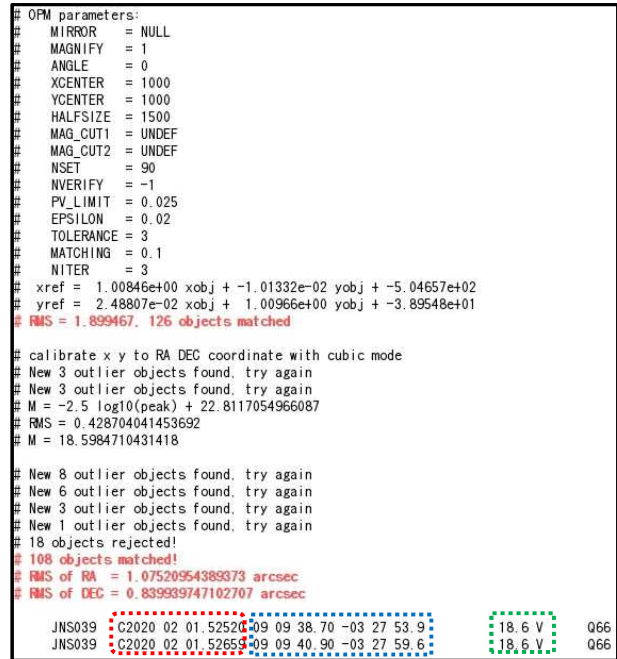


図 10: 物体検出後の位置及び光度の自動計算アルゴリズムでの計算結果。図中の赤枠が移動物体の観測時間、青枠が位置（赤経赤緯）、緑枠が光度（V等級）を示す。

物体検出後の位置及び光度の値はその後の物体の軌道決定やサイズの推定に必要な大変重要な情報である。とくに本研究で整備する光学観測装置は物体の位置決定精度を1秒角以下にできる可能性があり、レーダーと比較して高い精度で軌道決定できることが期待される。画像に写る恒星パターンを認識しカタログと比較することにより光学系の歪を含む精度よい位置座標変換式を導出し、さらに恒星の光度とカタログの光度を比較し光度変換式を導出する。これまで既存のソフトを利用して1時間程度かかっていた物体検出後の位置及び光度計算作業を大幅に短縮すべく、①画像からの天体検出アルゴリズムの開発、②カタログ天体との比較アルゴリズムの開発、③画像の曲面補正アルゴリズムの開発、④カタログ天体の光度から検出物体の光度を計算するアルゴリズムの開発、⑤プロセスの並列化を実施し、物体検出後の位置及び光度計算作業を1秒以内で実施できるようになった。図9に実際の観測画像から開発したアルゴリズムで自動検出した恒星を、図10に開発したアルゴリズムを利用した計算結果を示す。

4. 委託業務全体の成果

4. 1 計画時に想定していなかった成果（副次的成果）や、目標を超える成果

本研究では1秒間に数10枚の高速画像取得が可能なCMOSセンサーのような観測装置からの画像データをより高速に処理することが目的である。当初、リアルタイムでの解析はほぼ不可能と想定し32枚の連続撮影の間隔を5秒と設定し、5秒以内にすべての解析が終了することを最終目標とした。研究の全期間を通じて高速化を図ったところ、近年、性能向上の著しいマルチコアPCやGPGPUを積極的に導入することにより解析時間を大幅に短縮できることが判明した。特に

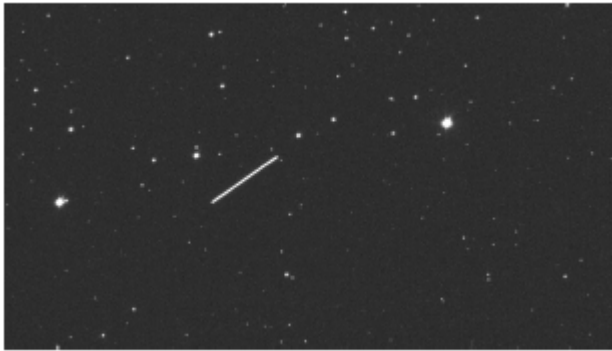


図 11: 観測画像中に残された低軌道デブリによる軌跡。

図5に示す1次解析及び後解析の部分はマルチコアPCの利用で作業の並列化を大幅に進めることが可能で実質の解析時間をかぎりなく小さくすることができるかと判明した。ボトルネックとなるのは2値化画像の加算計算をするFPGA解析の部分であるが、新たなアルゴリズム開発に加えGPGPUの導入で当初の目標から大幅に解析時間の短縮が可能となり1.3秒となった。GPGPUはFPGAと比べてアルゴリズムの変更等が容易でコストも低く抑えられ、仮想現実やゲームの業界でも多数利用されているため今後さらに性能向上やコストダウンが期待できる。

また、研究を進める上で画像上に直線上の軌跡を残す物体の検出に本研究で開発した高速解析アルゴリズムを適用できる可能性があることが判明した。図11に示すように観測画像中に高速で移動する物体が軌跡を残すことがある。例えば図11のような画像1枚のみを利用して（例えば100枚コピーして）軌跡の方向に画像をずらしながら重ね合わせることでノイズレベル以下の軌跡の存在を浮かび上がらせられる可能性がある。本研究で開発したアルゴリズムはこのような軌跡の検出にも有効に作用すると期待できる。この場合は軌跡の長さに比例して暗い軌跡の検出ができる。例えば400画素の軌跡であれば20倍の信号雑音比の向上が期待できる。本研究にも増した計算能力を要するが本研究で得られたGPGPUでの成果から不可能ではないと思われる。

4. 2 研究課題の発展性（間接的成果を含む）

本研究で得られた成果は、低軌道デブリや地球接近天体の監視網に直接適用することが可能である。研究期間中に豪州において4つの20cm級小型望遠鏡からなる観測装置及び解析システムを構築し望遠鏡に設置されたCMOSセンサーから得られる大量の観測画像をほぼリアルタイムで解析できることを示した。低軌道デブリの試験サーベイ観測の結果、検出物体のおよそ3割が米国の管理するカタログに載っていない物体であったがこれは20cm級という安価な望遠鏡でもカタログ物体に含まれていない10cm級程度の低軌道物体の状況を把握できる可能性を示唆して

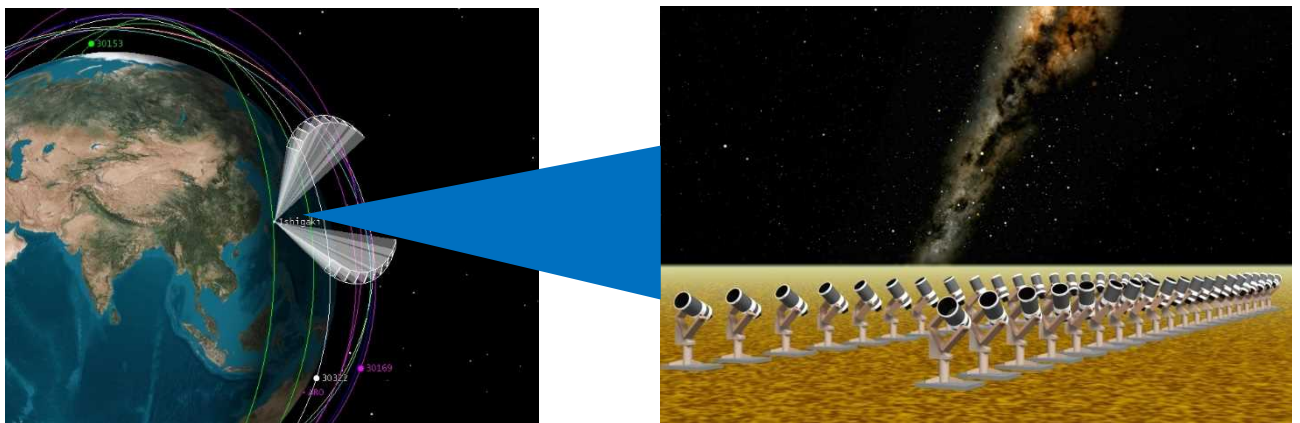


図 12: 検討中の低軌道デブリ監視システム。多数の小型望遠鏡を設置して天球の広い領域をフェンス状に観測し、フェンスを通過する低軌道デブリを検出する。40 cm級の望遠鏡を利用することによりこれまで米国のレーダー監視網では観測が不可能であった5 cm級の低軌道デブリの検出が可能と思われる。レーダー監視網と比較してきわめて安価に構築することが可能である。

いる。例えば40cm級の望遠鏡を利用することによりさらに小さい5cm級の低軌道物体の検出が可能である。望遠鏡を数10台並べることにより天球の広い領域をカバーすることにより世界に例を見ない低軌道デブリ監視システムの構築が可能であり（図12参照）、現在低軌道デブリ監視の主流となっている米国レーダー監視網を補完するシステムになるであろう。このシステムの

最大の特徴は米国のようなレーダー監視網の構築及び維持運用にかかる1/100程度の費用で同等サイズの低軌道物体を検出し追跡できる可能性がある点である。デメリットとしてはレーダーと比較して観測には天候及び日照の条件に影響を受ける点があげられる。米国のレーダー監視網を補完する日本独自の低軌道デブリ監視システムを構築することにより、宇宙状況監視（SSA）や宇宙交通管理（STM）の分野において日本のプレゼンス向上に大いに役立つ。また、最終的には宇宙デブリ問題の解決に大きく貢献し、将来的には世界の宇宙開発の発展を支える重要な役割を担うことが期待できる。

本研究において10cm級の未カタログの低軌道物体等がほぼリアルタイムで検出できる技術を開発できた。これら物体の軌道を決定することが次のステップになる。本研究において豪州東側のSiding Spring天文台に実験環境を整備したが、ここで検出された低軌道物体は1周回後に豪州西側上空を通過することになる。ここで再度同一物体をとらえることにより高い精度で当該物体の軌道を決定することが可能になる。上記目的のためにJAXAでは今年度、豪州西側に新たな遠隔観測施設の設立を計画している。本研究で準備された観測装置とほぼ同等のものや本研究で開発された高速解析システムを設置していく。東側で検出した低軌道物体を西側で追跡観測し双方の観測データを用いた軌道決定を行い精度等の検証をしていく予定である。

また、本研究の発展型として軌道上からの観測システムも検討している。具体的には宇宙ステーションの曝露部に小型望遠鏡を設置し宇宙から静止軌道や低軌道の観測を実施するというものである。宇宙に出ることにより天候による観測制約はなくなり、日照による制約も大幅に緩和される。宇宙ステーションを利用した観測システムの構築に関しては今年度の安全保障技術研究推進制度へ応募しており、JAXAは研究分担者として参加する。

さらに、本研究で得られた高速画像解析技術は、軌道上から夜間の海上船舶の検出に利用できる可能性がある。日本は海洋国家であり貿易の多くを海上輸送に依存している。また、近海の漁場は貴重な食糧資源である。現在、夜間、広域での海洋状況把握はほとんどできていない状況で、本研究で得られた成果を基に新たな海洋状況把握技術を獲得することは日本の海洋資源確保、海上交通の安全性、安全保障等に大きく貢献する。当研究に関しては今年度の安全保障技術研究推進制度へ応募しており、JAXAは研究分担者として参加する。

4. 1項で記載した観測画像からの暗い軌跡の検出についても実施していく予定である。東京大学は木曾観測所の1m望遠鏡にCMOSセンサー84個を装備したTomo-e Gozenカメラを開発した（図13参照）。当カメラは2Hzのスピードで画像

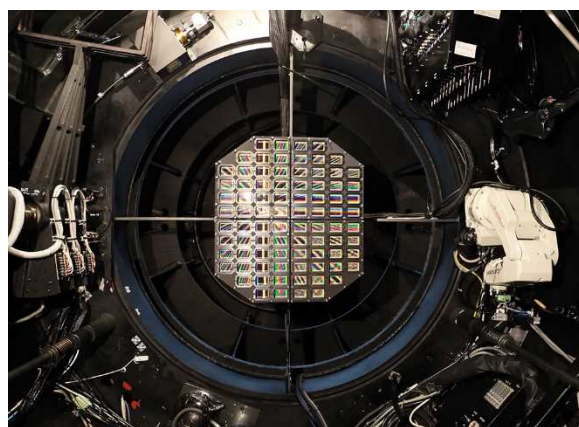


図 13: 東京大学開発の Tomo-e Gozen カメラ。キャノン製の大型 CMOS センサー84 枚を装備。東京大学木曾観測の 1m シュミット望遠鏡に装着され超新星残骸、重力波天体探索、地球接近天体探索等に活躍中。



図 14: 衛星画像における船舶の航跡

の取得が可能であり、6.6テラバイトのデータが毎日取得される（これらのデータは保存領域が足りないため7日後に削除される）。この中には図11に示すような低軌道デブリによる軌跡が多数含まれており、背景雑音に埋もれているさらに暗い物体による軌跡は膨大に存在するはずである。本研究で得られた成果をさらに発展させてTomo-e Gozenカメラから得られる大量の画像データから低軌道デブリによる軌跡を高速で検出することにより、これまで検出できていなかった10cm級以下のサイズの低軌道デブリの分布状況を明らかにすることが期待でき、SSAやSTMの分野に大きく貢献するものと思われる。東京大学とは科研費の獲得や共同研究を通じて協力関係を深め、本研究をともに遂行していく予定である。

本研究で実施する暗い軌跡の検出は、その前に記載した海上船舶の検出にも有効であると考えられる。船舶は航行に際し、進行方向逆側に図14に示すような長い航跡を残す。夜間の海洋画像に適用することにより船舶による航跡を検出できる可能性がある。

4. 3 研究成果の発表・発信に関する活動

本研究において豪州に整備した観測装置及び解析システムを利用して地球接近天体のサーベイ観測を実施したところ2020年3月17日20時30分（日本時間）に新たな地球接近天体を発見した（図15参照）。この天体はその後、世界各地の5つの天文台で追跡観測され、仮符号「2020 FC2」として国際天文連合（IAU）に登録された。この天体は、日本時間3月17日午前2時11分頃に、地球に約76.8万キロまで接近し、推定される直径は約11mであった。地球接近天体については国民の関心も高く、現在日本で発見できているのは我々と前述のTomo-e Gozenカメラを開発した東京大学のチームのみであることからJAXAホームページ上に発見情報等を公開した（※1）。また、2020 FC2に関する情報はIAUのサイトにも公開されている（※2）。

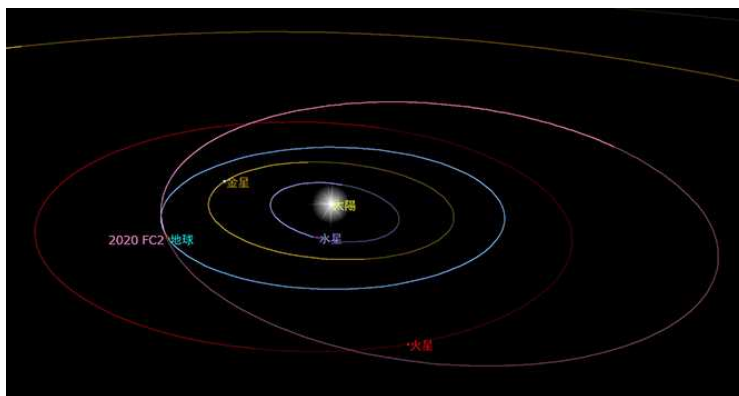


図 15: 本研究において発見された地球接近天体 2020FC2 の軌道（桃色）。

は我々と前述のTomo-e Gozenカメラを開発した東京大学のチームのみであることからJAXAホームページ上に発見情報等を公開した（※1）。また、2020 FC2に関する情報はIAUのサイトにも公開されている（※2）。

（※1） <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/debris/neo.html>

（※2） https://minorplanetcenter.net/db_search/show_object?object_id=2020+FC2

5. プロジェクトの総合的推進

5. 1 研究実施体制とマネジメント

特になし

5. 2 経費の効率的執行

特になし

6. まとめ、今後の予定

本研究では大量の画像を高速で処理することにより1枚の画像では検出できない非常に暗い移動物体の検出技術を開発することができた。研究開始前には2時間程度かかっていた一連の解析プロセスを、新規アルゴリズムの開発や解析プロセスの並列化、マルチコアPCやGPGPUの導入等により1秒程度にまで短縮できたこと、また、豪州に整備した実験環境を利用してその有効性を確かめられたことは非常に大きな成果であると考えられる。近年、宇宙デブリによる宇宙環境の劣化に対し各国の宇宙機関や産業界から憂慮する声が上がっており、深刻度が増している。今後はこの研究成果を異なる観測サイトにも適用することにより検出された低軌道物体の軌道決定を実施できる体制を構築する、小型望遠鏡を多数配置した低軌道デブリの監視システムや軌道上からの観測システムを検討する等、宇宙デブリ問題の解決に貢献できるような研究開発活動を継続していきたい。また、本研究成果を宇宙デブリや地球接近天体の監視以外にも軌道上からの船舶検出等、広く適用範囲を広げていく活動を進めていきたい。

最後に、大変有意義な研究機会を与えていただいた防衛装備庁安全保障技術研究推進制度の関係各位及び本研究のプログラムオフィサーを務めていただき適切なご指摘、ご助言をいただきました、防衛装備庁防衛技官の佐藤玲司様、木部道也様、齋藤靖之様、倉本健介様にはこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

7. 研究発表、知的財産権等の状況

(1) 研究発表等の状況

種別	件数
学術論文	1
学会発表	3
展示・講演	該当なし
雑誌・図書	該当なし
プレス	2
その他	該当なし

(2) 知的財産権等の状況

該当なし

(3) その他特記事項

該当なし