

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

日本の地球観測衛星に対する自動雲量評価手法の開発について

祖父江 真一

2005年2月

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

宇宙航空研究開発機構研究開発資料
JAXA Research and Development Memorandum

日本の地球観測衛星に対する
自動雲量評価手法の開発について

Development of a Method of Cloud Detection
in Japanese Earth Observation Satellites

祖父江 真一

Shinichi SOBUE

情報化推進部

Information Systems Department

2005年2月

February 2005

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

和文抄録

近年、地球観測衛星などの観測データと気候変動の予測モデルを活用することにより、エルニーニョに代表される全球規模での異常気象・気候に関する研究が進められている。このため、研究者が地球観測衛星データを効率的に利用するために、観測データを効率的かつ簡易に提供する情報システムの整備が必要となっている。衛星データの検索にあたっては、観測日・観測場所が主要な検索条件であるが、これに加えて光学センサーの場合にはデータの中の雲の割合も重要な検索条件となっている。これは、光学センサーのデータのうち70%が雲に覆われていて、雲の割合が多いデータは利用者にとって利用価値がないためである。

そこで、衛星データの検索システムにおいては、各データに関する観測機器・観測日・観測場所などとともに被雲量率（データの中の雲の占める割合）を、データベースに登録し、利用することになる。従来この被雲量率については、衛星データを受信する際に、あわせて未補正データを運用者が目視による点検を行い、0から10までの11段階で評価を行い、その結果を手入力によりデータベースに追記してきた。しかし、昨今の衛星の高分解能化およびデータ中継衛星による全球観測によるデータ量の爆発的な増加により、運用者による雲量の目視評価が不可能な状況が発生しつつある。このため、雲量を運用者にかかわって自動的に評価する手法の開発が必要となってきた。本稿においては、これまで米国等で開発された雲量の自動評価手法の概要について紹介するとともに、著者らが開発した日本の地球観測衛星用の新しい雲量の自動評価手法とその成果を説明する。

和文キーワード

地球観測衛星、自動雲量評価、LANDSAT、ADEOS、JERS-1、ALOS、EOS-TERRA、ASTER

日本の地球観測衛星に対する自動雲量評価手法の開発について

Development of a Method of Cloud Detection in Japanese Earth Observation Satellites

祖父江真一
Shinichi Sobue

緒言

近年、地球観測衛星などの観測データと気候変動予測モデルを活用することにより、エルニーニョに代表される全球規模での異常気象・気候に関する研究が進められている。このため、研究者が地球観測衛星データを効率的に利用するために、観測データを効率的かつ簡易に提供する情報システムの整備が必要となっている。衛星データの検索にあたっては、観測日・観測場所が主要な検索条件であるが、これに加えて光学センサーの場合にはデータの中の雲の割合も重要な検索条件となっている。これは、光学センサーのデータのうち70%が雲に覆われていて、雲の割合が多いデータは利用者にとって利用価値がないためである。

そこで、衛星データの検索システムにおいては、各データに関する観測機器・観測日・観測場所などとともに被雲量率（データの中の雲の占める割合）を、データベースに登録し、利用することになる。従来この被雲量率については、衛星データを受信する際に、あわせて未補正データを運用者が目視による点検を行い、0から10までの11段階で評価を行い、その結果を手入力によりデータベースに追記してきた。しかし、昨今の衛星の高分解能化およびデータ中継衛星による全球観測によるデータ量の爆発的な増加により、運用者による雲量の目視評価が不可能な状況が発生しつつある。このため、雲量を運用者にかかわって自動的に評価する手法の開発が必要となってきた。

本稿においては、これまで米国等で開発された雲量の自動評価手法の概要について紹介するとともに、著者らが開発した日本の地球観測衛星用の新しい雲量の自動評価手法とその成果を説明する。

1. はじめに

米国の地球観測衛星である NOAA, LANDSAT 用には4種類の雲量評価手法が存在している。最も単純な雲量評価手法は、単一バンド（チャンネルー観測周波数帯域）の輝度値

に対し閾値を設定し、雲の有無の判定を実施するものである。2つ目の手法は、複数のバンドの輝度値に対して閾値を設定し、雲の有無の判定を実施するものである。3つ目の手法は、データの空間的な特徴を利用するものである。4つ目の方法は、1つ目の方法である閾値による判定と3つ目の方法である空間的な特徴による判定をくみあわせるハイブリッド型である。この方法は、LANDSAT, NOAA において、可視・近赤外領域と熱赤外の2つのバンドの閾値と空間的な特徴とを併用した手法として用いられており、世界でも広く運用に供されている。

しかしながら、宇宙航空研究開発機構がこれまでに打ち上げた地球観測衛星の高分解能光学センサーにおいては、熱赤外のバンドを有していないため、LANDSAT, NOAA の自動雲量手法が利用できない。このため、本稿においては、あらたに可視・近赤外領域のバンドの閾値と空間的な特徴のみを利用して、熱赤外のバンドを利用した場合と同じ程度の精度を有する自動雲量判定手法を開発し、評価した結果を報告するものである。

2. 既存の自動雲量判定アルゴリズム

2.1 単一バンド閾値判定・複数バンド閾値判定手法

最も単純な雲量の自動判定のためのアルゴリズムは、単一バンドのデータの各ピクセルの輝度値を利用し、その輝度値があらかじめ設定した閾値よりも大きいか小さいかによって、雲かどうかの判定をするものである。これは、一般的に可視・近赤外領域において、雲の輝度値は、他の地表の輝度に比べてはるかに高いことを利用するものである。あるいは、夜間のデータを利用する場合には、熱赤外領域のデータを用いて、海面よりも雲の方が温度が低い、すなわち熱赤外の領域では雲は海表面に比べて輝度ははるかに低いことを利用して、雲とそれ以外を判別することになる。

この単一バンドの閾値による判定方法は、もともと単純なものであり、簡単に実装できるものである。しかしながら、雲の輝度値が季節・地域によりばらつくため、最適な閾値の設定は

困難である。その上、雪・氷のような地表面においても輝度の高いものと雲の区別は不可能である。このため、運用システムにおいては、単一バンド閾値判定のみによる自動雲量判定は行われていないのが実情である。

この単一バンド閾値の欠点である雲と雪・氷との区別のためには、これらの情報が区別できる中間赤外領域のデータをつかえばよいことは、静止気象衛星での雲画像や LANDSAT TM データからあきらかである。そのような観点にたつて、複数のバンドによる閾値判定手法が開発された。具体的には、まず可視・近赤外の領域のバンドを利用して、大雑把なスクリーニングを実施する。その後、残ったデータの中で、赤外の領域のバンドを利用して雲と雪・氷の区別をすることになる。これにより、雲と雪・氷の間の誤判定は少なくなり、雲量率の精度は単一バンドによる判定に比べて大幅に向上することになる。NOAA 衛星においては、この手法が一般的に用いられている。LANDSAT-5 用にも、3つのバンド(3, 5, 6)を用いた可視・赤外のデータによる複数バンド閾値による雲量抽出方式が運用のためのソフトウェアとして実装され、利用されてきている (EOSAT, Landsat TM Automatic Cloud Cover Assessment-ACCA)。

また、複数バンドの閾値を利用する手法には、上記に述べた方式以外に、赤外の領域のデータのみを利用して、その輝度データを温度に変換し、そのデータで多次元のヒストグラム空間を構成し、その中でどの場所にデータが位置するかにより、それが雲か否かを判定している手法がある (A bispectral method for the automatic determination of parameters for use in imaging satellite cloud retrievals, England and Hunt, 1985)。あわせて NOAA 衛星の場合には、夜間の二つのバンド間の輝度値の差を利用して雲を判定する方式も提案されている (Cloud detection and classification over ocean at night with NOAA-7, Olesen and Grassl, 1985)。

以上に記述した複数バンドを利用する方法はとても有効であるが、JAXA の衛星の高分解能センサーである MOS-1/MESSR, JERS-1/OPS, ADEOS/AVNIR および ALOS/AVNIR-2 においては、中間、熱赤外の領域のバンドを持っていないため、これらの手法を利用することはできない。また、これらのいずれの方式においても、最適な閾値を設定するという作業が必要となっている。

2.2 ハイブリッド方式

2.1 で述べた閾値の方法に対して、さらに雲量判定の精度を上げるための試みが、米国においても実施されてきた。それが、輝度値の閾値にくわえてデータの空間的な特徴を利用する方法である。データの空間的な特徴のみを利用して雲量を判定するという手法がまず考案され、それを輝度値の閾値判定と組み合わせハイブリッド方式として提案されるようになった。

空間特徴方式とは、一般的に雲の空間的な特徴とそれ以外の地表の空間的な特徴が異なるという点に着目した方式である。NOAA 衛星においては、熱赤外の領域のデータを用いて、特定の領域のサブ領域の中での平均輝度と分散を計算し、この2つの値を用いることにより、雲かそれ以外かを判定する手法が提案されている (Coakley and Bretherton, 1982)。この空間的な特徴のみを利用する手法は、輝度値の閾値の最適設定に関する検討のかわりに分散と平均輝度の閾値を決めることになる。この方式は、バックグラウンドがノイズにならないことを前提としているため、海の上のデータでしか利用できないという制約条件が存在している。

また、NOAA 衛星データに対する輝度閾値による自動抽出と空間特徴による自動抽出に関する比較研究によれば、閾値を適切に設定した閾値による雲量判定の方が、空間特徴による雲量判定よりも精度が高いことが示されている (Noah, Research into alternative methods of cloud cover assessment, 1987)。

これらの状況を踏まえて、ハイブリッド方式が提案されている。具体的には、特定のサブ領域において、赤外バンドの輝度値を利用し、あきらかに雲だけのデータおよび雲でないデータの判別を実施する。その後、その領域の中のさらにサブ領域に対して、空間特徴抽出を実施し、雲かそれ以外かの判別を実施する。これにより、精度をあげるとともに、計算に必要な処理を減らしている (R.W.Saunders, An Automated scheme for the removal of cloud contamination from AVHRR radiances over western Europe, 1986)。

3. 新しいアルゴリズム

3.1 新アルゴリズム

2章で述べたように、すでに雲量の自動抽出のためのアルゴリズムが数多く研究・開発され、運用にも供されている。しかしながら、運用で利用可能となっている大部分のアルゴリズムは、雲の判定あるいは雲と雪・氷の区別のために赤

外の領域のデータを利用している。このため、JAXA の地球観測衛星データの自動雲量抽出には利用できないものであった。そこで、本研究においては、可視・近赤外のデータの輝度による閾値によるスクリーニングとともに、いかに雲と雪・氷を中間・熱赤外のデータなしで判断するかという点に主眼をおき、アルゴリズムを検討した。その結果として、陸表面における雲と雪氷の空間的な特徴の差に着目し、空間特徴利用のアルゴリズムを応用することとした。ただし、2. 2章に述べたサブ領域の平均値と分散を用いただけでは精度が悪いことが自明なため、リモートセンシング画像上に現れる自然界の直線状もしくは直線に近いパターンであるリニアメントをさらに利用することとした。このリニアメントを抽出するために、各種フィルタの検討を実施した。フィルタとしては、Robinson、Sobelおよびラプラシアンフィルタを選定し、これらによるリニアメント抽出を実施した。その中で微分処理に相当するラプラシアンフィルタがもっとも適当と判断し、さらにラプラシアンフィルタをカスタマイズした次のフィルタを提案し、リニアメントを強調することとした。

$$\begin{bmatrix} y1 & y2 & y3 \\ y4 & y5 & y6 \\ y7 & y8 & y9 \end{bmatrix} = \frac{1}{5} \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 5 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I1 & I2 & I3 \\ I4 & I5 & I6 \\ I7 & I8 & I9 \end{bmatrix} \quad (1)$$

そして、フィルタを適用したデータにおいては、雲の領域はデータがリニアメントがほとんど存在せず、逆に地表面の雪氷域では山などの陸面の特徴により明確なリニアメントがでてくることが明らかになった。これを利用し、フィルタを適用していないデータと適用したデータの差をとることにより、雲と雪・氷とを区別することとした。

3.2 RGB カラー空間から HSI カラー空間への座標変換

新しいアルゴリズムでも、閾値で雲と雪氷のスクリーニングを実施するのでまず複数のバンドの輝度値に関する閾値の設定が必要となる。この際、閾値を季節・場所ごとに最適に設定する必要がある。しかし、この作業には膨大な時間と手間がかかる。そこで、本作業を軽減するために、複数のバンドを単純にそれぞれ RGB カラー空間の色に割り当てるのではなく HSI カラー空間に変換することにより、データ間の依存性をなくし、閾値の最適化を極力にかかる手間

を減らす試みが、財団法人リモートセンシング技術センター（RESTEC）により実施された（RESTEC, Final Report on Technical Support to develop the ALOS ground system – Development of a method of cloud reference algorithm in JFY2001）。

RESTEC の研究においては、次の空間変換式により、RGB から HSI への変換が実施された。

$$I = I_{max} = \max\{R, G, B\} \quad (2)$$

$$S = (I_{max} - I_{min}) / I_{max} \quad (3)$$

$$\text{where } I_{min} = \min\{R, G, B\}$$

$$\begin{aligned} H &= \pi (b-g) / 3 && \text{if } R = I_{max} \\ &= \pi (2+r-b) / 3 && \text{if } G = I_{max} \\ &= \pi (4+g-r) / 3 && \text{if } B = I_{max} \end{aligned} \quad (4)$$

この HSI カラー空間へ変換したデータに対して、次の4つの閾値を設定し、それにより雲と雪・氷との判別をようしている。

Threshold 1: Greater than I

Threshold 2: Less than S

Threshold 3: Greater than H and

Threshold 4: Less than H

3.3 アルゴリズムの全体の流れ

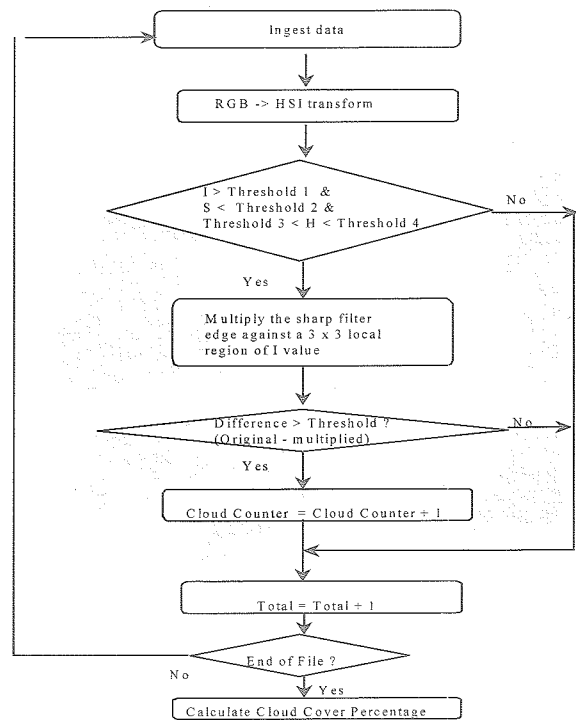


図1 新アルゴリズム

本研究においては、3.1, 3.2 の2つの内容をまとめ、図1に示す新しい雲量判定のためのアルゴリズムを構築した。

図1のアルゴリズムは、概要としては、次のとおりとなる。

- ① 3つのバンドのデータをRGBとし、それをHSI変換する。
- ② 3.2章で示したRESTEC提案の4つの閾値を用いて、Iのデータ=Intensityデータ(強度)において、雲または雪氷とそれ以外との判定を行う。
- ③ Iデータに対して、3x3のサブ領域ごとに(1)式で記述したフィルタを適用したデータを作成する。
- ④ フィルタを適用した値と、元のデータの差分を計算する。
- ⑤ 差分があらたに設定する閾値よりも大きな値をとる場合にはそれを雲と判断し、それ以外は雪氷という判断を行う。

4. 結果

4.1 データ

まず本研究では、日本の衛星データに適用する前に、既存のアルゴリズムとの比較検証を実施するために、LANDSAT-5/TMのデータに対して、新しいアルゴリズムとTMの運用システム用の自動雲量評価アルゴリズムであるACCAの両方を適用し、有効性の事前検証を実施した(Sobue, Development of Method of Cloud Detection in Earth Observation Satellite Data, 2000)。



図2 LANDSAT-5 TMの雲領域判定結果

その後、本研究において、表1に示すさまじ

まな場所・季節のJERS-1 OPS/VNIRのデータに対して、今回の新アルゴリズムと既存の単一輝度の閾値だけを用いたアルゴリズムの双方を適用し、結果の比較検証を行った。図3にJERS-1 OPS/VNIRのデータ例を示す。

Table 1. JERS-1 OPS Test Data

Scene ID	Zone	Location	Observation Date
A1	Tropics	South East Asia	1998/2/21
A2	Tropics	South East Asia	1994/5/29
A3	Tropics	South East Asia	1996/9/11
B1	Dried Zones	Africa	1997/4/14
B2	Dried Zones	Africa	1996/7/20
B3	Dried Zones	Africa	1995/12/17
C1	Temperate Zones	Japan	1996/3/5
C2	Temperate Zones	Japan	1993/7/12
C3	Temperate Zones	Japan	1994/12/22
D1	Cold Zones	East Asia	1994/4/12
D2	Cold Zones	East Asia	1993/7/12
D3	Cold Zones	East Asia	1993/10/16
E1	Frigid Zones	Europe	1996/4/7
E2	Frigid Zones	Europe	1995/8/31
E3	Frigid Zones	Europe	1997/12/14



図3 JERS-1 OPS データ, 4/7/1996
(表1のE1テストデータ)

また、ADEOS/AVNIR, EOS-TERRA/ASTERについても、複数のデータに対して本アルゴリズムを適用し、その結果を検証した。

4.2 検証結果

図4に、LANDSATの場合と同様に本研究で提案するフィルタを図3のJERS-1 OPSデータから作成したIデータに適用した結果を示す。

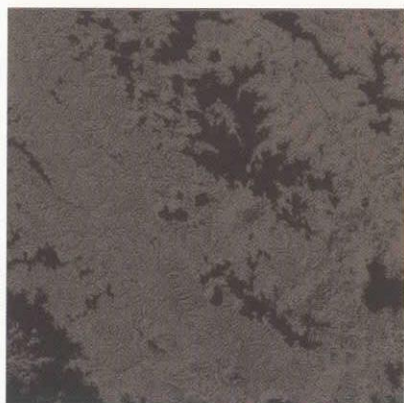


図4 フィルタをかけたデータ

図4においては、雲の領域が暗く、しかし雪氷(この場合には雪)のデータは明るくなっていることがわかる。これにより、雲と雪氷の判別ができていることが確認できた。

図5に、表1で述べた各データに対して、輝度値のまま閾値により雲を判別した結果(—◆—RGB)、HSI変換した後のデータで閾値により雲を判別した結果(—■—ISH)と、本研究で提案するアルゴリズムで雲を判別した結果(—▲—Sharp)を示す。なお、正解として、熟練した運用者による目視での雲量判定結果(—●—Eye (目視))を利用し、あわせて図5に記述している。

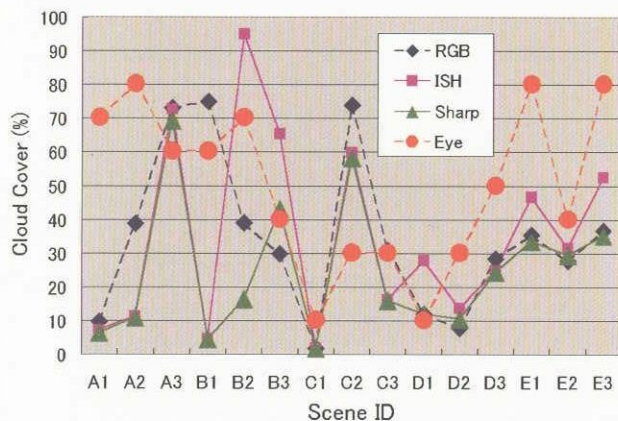


図5 雲量率判定結果

この図5の結果により、RGB輝度値、HSIおよび新しいアルゴリズムの方式でかなりのデータに対しては±10%程度の差異におさまっておりよい相関が得られていることがわかる。目視の判定結果との差異については、大部分のケースで本研究で提案する方式が最も差異が小さ

いことがわかる。しかし、データ(A1, A2, B1, B2, C2, D2, D3, E1, E3)によっては、目視と他の自動判定方式の間で20%以上の雲量率の差があるものが見受けられる。特にA1, A2, E1, E3は、その差が特に激しくなっている。このような結果は、図6に示すADEOS/AVNIRの場合にも、いくつかのデータに対して、発生している。

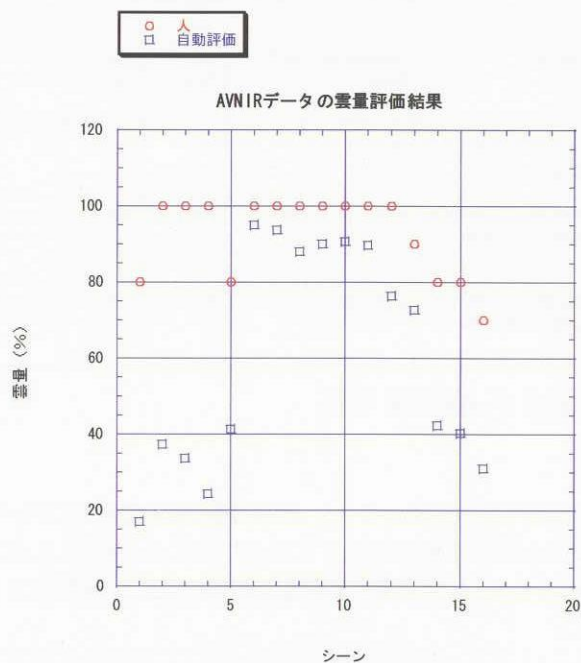


図6 AVNIRでの提案方式と目視の比較結果

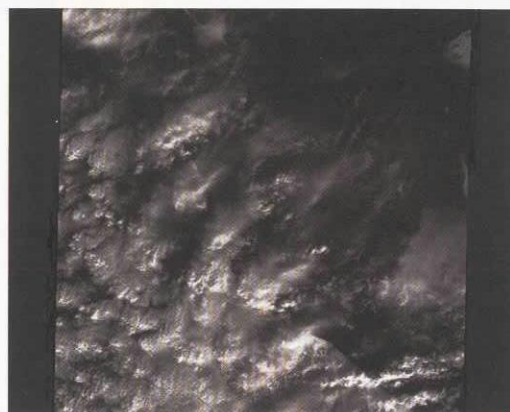


図7 AVNIR データ (図6のシーン2)

このような差異は、図7に示すようなシーンの中に薄い雲と濃い雲がデータに点在して存在する場合に発生している。図7のデータの場合、目視判定では80%雲量となっているが、実際にはそこまでの雲量はなく、運用者が全体

としてのうす雲の広がりもふくめて、多めに雲量を見積もっていることがわかる。

最後に表2に ASTER の目視、ASTER で実装されている LANDSAT の ACCA ベースのアルゴリズムと本研究方式の結果を示す。

表2 ASTER の比較結果

Data ID	Observation Date	GDS	Single Threshold	New Algorithm	Visual
ASTERL1B02011401 33160202180213	2002.1.14	31	25.9	12.9	17
ASTERL1B01081601 32260108270180	2001.8.16	29	47.6	39.8	30
ASTERL1B01051201 34280105230208	2001.5.12	34	33.7	14.6	20

*GDS が ASTER 方式

ASTER においても、ASTER の GDS(地上システム)用の LANDSAT アルゴリズム、目視と本アルゴリズムで大幅な齟齬がないことが確認できた。

5. まとめ

本研究で提案したアルゴリズムを JERS-1 OPS/VNIR, LANDSAT-5 TM, ADEOS/AVNIR および EOS-TERRA ASTER に適用し、目視および既存のアルゴリズムと比較することにより、実用レベルでは問題ない結果が得られることが確認できた。しかしながら、新しいアルゴリズムにおいても、数は少なくなるものの、閾値の最適設定という作業は残ることになる。その上で、さらに、目視においては、うす雲がシーン全体に広がっているような場合などにおいては、運用者が雲量をかなり多めに判定していることがわかり、正確な雲の量をこれまでの雲量率情報ではあらわしていないことがわかった。ただ、本研究テーマとなっている雲量は、厳密な意味でのシーンの中での雲量率を期待しているのではなく、ユーザが利用可能なシーンを選定するための検索キーであるため、データ検索システムにおける雲量率という観点でどのように雲量率を定義するのが適切かを引き続き検討していく必要がある。

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-04-013

発行日 2005年2月28日
編集・発行 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
〒182-8522
東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1
TEL 0422-40-3000 (代表)
印刷所 株式会社 ビー・シー・シー・
東京都港区浜松町2-4-1

©2005 JAXA

※本書(誌)の一部または全部を著作権法の定める範囲を超え、無断で複写、複製、転載、テープ化およびファイル化することを禁じます。

※本書(誌)からの複写、転載等を希望される場合は、下記にご連絡ください。

※本書(誌)中、本文については再生紙を使用しております。

<本資料に関するお問い合わせ先>

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 情報化推進部 宇宙航空文献資料センター



宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency