

TRMM 高度変更による PR へのインパクトと対応について

2001年6月1日

宇宙開発事業団 衛星総合システム本部

1. 経緯と概要

TRMM 打ち上げ当初からミッション終了後にはコントロールドリエントリー (制御再突入) を行うことを予定していた。NASA では、TRMM がミッション期間を達成したことから2000年末から、再突入に関する再検討を開始した。

NASA の解析では、最新の解析ソフトを用いた場合でも TRMM はデブリとして燃え残り、燃え残る面積 (デブリ面積) が NASA の定める危険基準値を越えており、コントロールドリエントリーが必要であるとの結論を得た。また、コントロールドリエントリーについても当初想定していた推薬量 (58kg) よりもかなり大量の推薬 (157kg) が必要であることがわかり、これまで考えられていたミッションライフより短いミッションとなる。そのため、衛星高度を400km程度に上げて、ドラッグを少なくすることによりミッションライフを伸ばす方法についても検討が行われている。

以下では、軌道高度を上げることのPRへの影響についての検討結果を、PR チームの協力のもとにまとめた。

2. 高度変更 (350km から404kmへ) した場合の影響

衛星高度を上げる場合、PR の1パルス間隔に相当する距離 (54km) だけ高度を上げることのみが観測を継続できる可能性のあるオプションである。そうすれば、受信するエコーは見かけ上、現在と同じタイミングで取得できるが、次の事に起因する問題が考えられる。

衛星から雨や地表までの距離が増加すること

送受の角度に32パルス中1パルスにミスマッチが起ること

全球観測日数が変化すること

以下では、それらについて詳細に示す。

2.1 距離の増加の影響

受信電力が $1.2\text{dB}(=20*\log(400/350))$ 程度劣化する (一様降雨の場合)。

- ・フットプリントサイズが4.3kmから5kmになる。面積は1.35倍となる。
- ・フットプリントサイズが大きくなったことによるNUBF(non uniform beam filling)の効果が大きくなる。

観測範囲がスキャン毎にオーバーラップする (衛星進行方向に対して)。

走査幅が約220kmから約245kmになる。

・同じアングルピンに対して、鉛直分解能も低下する。ただし、衛星直下点から同じ水平距離における鉛直分解能はほとんど変わらない。

404kmに衛星を上げた場合には、大きいスキャン角度で地表面までの距離が増加し、地表面が

サンプル領域からはずれる場合があると考えられる。これは、高度が 404km になった場合、直下と角度 17 度の時の地表面までの距離の差が約 17km から約 20km に増加するためである。そのため、

- (1) 全スキャン角度で地表面を捉えるためには、衛星高度を 3km 程度下げる必要がある。
- (2) すべてのスキャン角度で観測高度の範囲を 350km の場合と同じにするためには、単純に考えた場合 PR のサンプルレンジの設定を変更する必要がある。但し、後述のように、他のモードと共通化するためには、変更は困難である。
- (3) $\pm 8^\circ$ 付近でノイズサンプルに降雨エコーが入る可能性がある。(ただし、赤道付近など衛星の高度が比較的低い地域で、かつ 20km 近くに及ぶ高い降水エコーが観測された場合にしかおきないので、その確率は非常に小さい。)

図 2 - 1 にデータサンプル設定について示す。

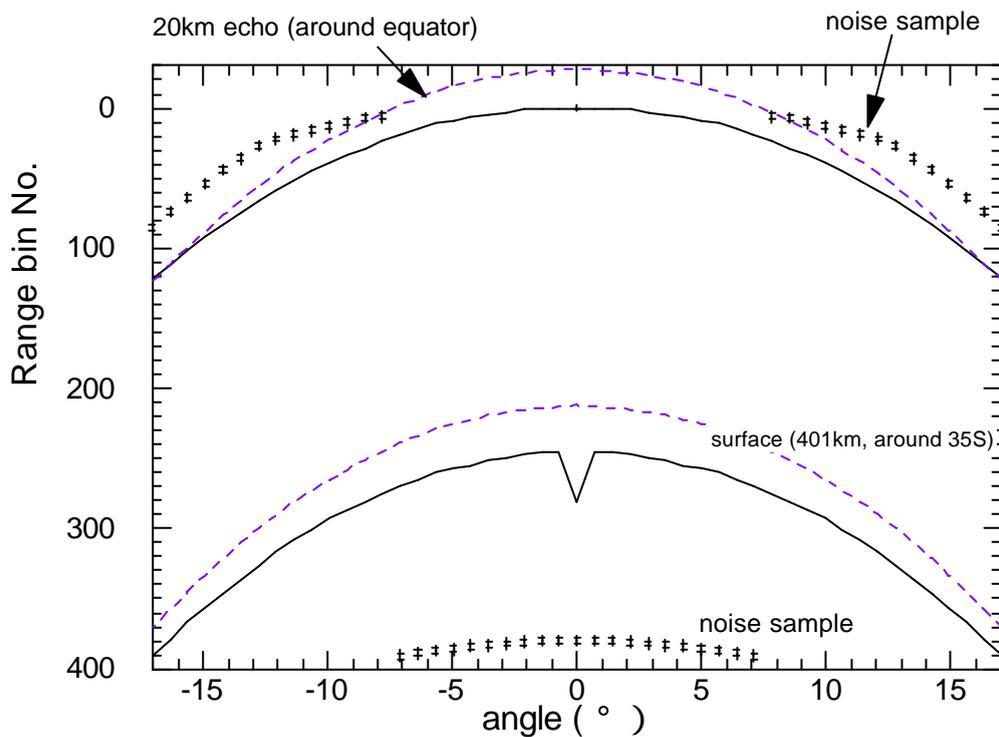


図 2 - 1 PR のサンプルレンジの設定 (実線)。細い破線で示したのが南緯 35 度付近の高度 401km の時の地表面位置の範囲と 20km のエコーが赤道付近で現れたとした場の出現レンジビン番号。+印でノイズサンプルの位置を示す。

2.2 送受の角度に3パルス中1パルス分 mismatch が起こることの影響

平均するパルス数である3パルスのうち1パルスに角度の mismatch (エコーの到来方向とアンテナの指向する方向が一致しないこと)が起る。これは、1パルス分距離をずらしたことに因る。

S/Nが $10\log(\sqrt{3/3}) = 0.0689\text{dB}$ 劣化。(ただし、この値にはエコー強度の減少(約-1.2dB)は含まれていない。フェージングの増加によるS/Nの劣化の値である。)

・実際の平均化においては、アンテナの指向性の重なりにより、隣のアングルのエコー1パルス分が平均操作に含まれ、バイアスを生じる可能性がある。特に強い対流雲、地表付近ではその効果が懸念されるが、多くの場合はその影響は小さいと考えてよいとの結論を得た。

・3パルス平均した値に補正する必要がある。

2.3 全球データサンプリングの変化 (図2-2参照)

全球観測に要する日数 (観測可能な緯度の範囲を漏れなく観測するのに要する日数)は、図2-2に示した通り、

350km (現状)では、8日

404kmでは、14日

401kmでは、10日

である。特に、407kmにするとサンプリング非常に悪くなり観測されない地域が生じる。ちなみにTMIのサンプリングは、基本的には高度が高くなることで走査幅が増加することにより、現状より良くなる。

日変化観測特性の変化としては赤道地域で同じ地方時に回帰してくる日数は、23.7日から24.3日への増加で、日変化観測への影響は少ない。高緯度域(~35度)では47.3日から48.5日に増加する。

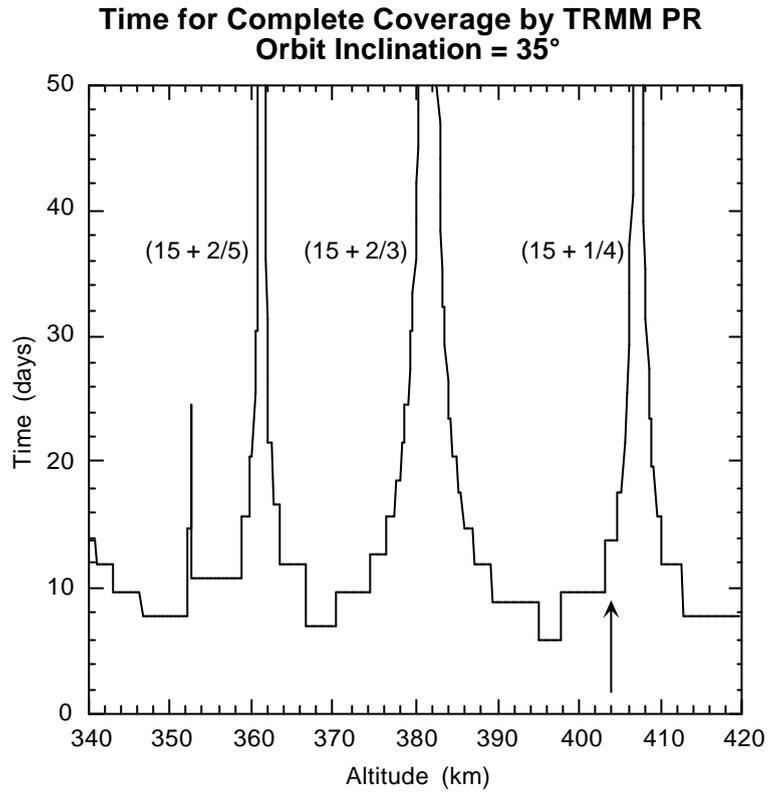


図2 - 2 全球観測日数 (T. Bell さんによる)

2.4 PR観測に対するインパクトのまとめ

以上のことを表2-1にまとめた。

表2-1 PRへの影響のまとめ

項目	細目	備考
距離増加	受信強度劣化	1.2dB。弱いエコーが観測できなくなる。地上系改修(1C21 距離補正項)が必要。
	フットプリント増加	4.3km→5km
	NUBF	フットプリントの面積増加が影響する。
	走査幅増加	220km→245km
	衛星-地表面間距離の角度変化量の増加	
	高高度エコーの欠損	高度401kmとすると最悪時の保証高度は12km
	ノイズサンプル変更	地上系でノイズサンプルの方法の変更
	フットプリントの重なり	フットプリント増大と衛星速度の減少の影響
ビームミスマッチ	S/N劣化	0.07dB程度
	隣接するエコーの影響	強度としてはほとんど影響が無い(CRL 井口さんの解析結果)、降雨判定、地表面散乱断面積の統計に与える影響については吟味が必要
	エコー強度補正	地上系の改修が必要となる。
衛星軌跡変化	全球観測日数増加	高度401kmならば2日増加
	日変化観測日数増加	約1日程度伸びる

2.5 アルゴリズム改修

2.4で示された項目のうち距離補正項と平均パルス数の変化による補正については、地上系で対応する必要がある。

レベル1処理に関しては、以下の点について改修を行う必要がある。

- ・ 衛星距離データの修正(1B21、1C21)
- ・ 送受信のミスマッチの補正は、ミスマッチした1パルス分がノイズレベルであると仮定した場合、一次式で補正できる。また、ミスマッチした1パルス分にエコーが入っていることを想定した場合、レンジ方向のみの処理であるレベル1では、大幅な改修が必要となる。(ミスマッチの補正は行うとすれば1C21で行うべきと考えられる。)
- ・ クラッターチェーンのテーブル変更

レベル2以上の変更点については、

・ 2A21: ビームミスマッチの効果の補正を行う必要がある。入射角の微小な変化があるが、現在と同じ分類で散乱断面積の統計を取ればよいと思われる。地表面散乱断面積の統計値(intermediate files)が軌道変更後もそのままつかえるかどうかは明らかではない。隣接ビームからの漏れの影響も吟味する必要がある。

- ・ 2A23: フットプリントが変わった事による降雨タイプ分類の閾値のチューニング。

- ・ 2A25 : NUBFの補正係数の変更 (この係数は理屈上は変える必要があるが、変えなくとも実際にはほとんど影響はないと思われる。)
 - ・ 3A25 : コード変更はないが、閾値で定義するような統計 (storm height, rain probability, stratiform/convective ratio) の意味が変わることになる。
 - ・ 3A26 : 降雨の確率の変化に伴ったコード変更。
などの作業が必要となる。
- 全体として、軌道高度変更前後で用いるアルゴリズムは1つのプログラムにしたい。(同じプログラムで軌道変更前のデータも変更後のデータも処理できるようにしたいということ。)

3. 高度変更前後の NASDA の体制

- ・ チェックアウト体制をとる (高度変更前後で HK データ、ARC 観測) が必要だと考えられる。メーカーの支援を受けて、高度変更前後での HK データによるチェックアウトや ARC による実験で、PR の絶対校正と送受信角度のミスマッチの効果を検証する。
- ・ 地上システムのチェックアウトとして、軌道高度変更後のアルゴリズムのチェックアウトを行う必要がある。

4. 気象学的物理量への影響

- ・ 感度の低下により
 - 降雨検出確率が低下する。降雨領域が減少する。
 - 降雨頂高度が低下する。
- ・ 観測視野の増加(分解能の低下)により
 - 降雨タイプ分類に影響する可能性がある。
 - 非一様降雨補正に影響し、降雨強度の推定値がやや換わる可能性がある。
- ・ 高度の増加が1パルス分(54km)ではなく51km程度となることにより
 - 最悪時の最高観測高度が、現在の15kmから12kmに低下する。(最悪の条件は赤道付近で起きる。)
- ・ 隣接ビームからの漏れにより
 - 無降雨領域を降雨領域と誤判断する可能性がある。
 - 漏れを考慮しない補正を行った場合、地表面散乱断面積や降雨強度などにバイアスを生む可能性がある。
- ・ 観測中心点間の距離がスキャン方向と進行方向で異なる事により
 - 統計処理にこのことを考慮する必要がある。
- ・ 地球が丸いことにより
 - 同じアングルピンに対する地表面での入射角がわずかに増加する。そのため同じアングルピンでも散乱強度(散乱断面積)はわずかに変化する。

ただし、これらの影響は現状のPRデータを用いた殆どの研究課題に対しては、どれも非常に小さいものと考えられる。また、どれもある程度補正可能と考えられている(ただし、観測可能高度範囲は補正不可能)。補正後最終的にどれほどの差が統計に現れるかはシミュレーションを行ってみないと良くわからない。