

4. MOS/MSR によるバングラデシュの 1988–1990 年洪水の観測

4. 1 概要

ベンガル語で「ベンガルの国」を意味するバングラデシュは、1971 年、国名を東パキスタンから変え、インドの援助を受けて西パキスタンから分離独立した。国土の大部分は広大な沖積平野から成り、熱帯モンスーン気候に属する。図 4.1 の地図に示すように、バングラデシュでは、ヒマラヤ山脈から発して 2510km のガンジス川と 2900km のブラマプトラ川が合流しており、ベンガル湾へと注いでいる。ガンジス川とブラマプトラ川が作るデルタ地帯には、集落と耕地が堤防に囲まれて広がっている。満潮時には水路に海水が入り込み、水位は村より高くなるという。雨季は 4 月頃から 10 月頃で、毎年恒常的に洪水が発生している。サイクロンに襲われると、農作物や家畜・家、人間まで流されてしまう。広い平野と高温多雨という恵まれた稲作環境ではあるが、洪水災害も多く、農民の生活は不安定であると言える。

一方、序論にて述べたように、マイクロ波帯の放射率は水面からと土壌からとでは大きく異なるということ、また、マイクロ波帯は昼夜、多少の雲にかかわらず観測可能であることから、マイクロ波放射計データを用いて洪水状況の観測が定常的に行える、と考えた。その考えを初めて実際に応用したのが、このバングラデシュ洪水観測である（田中ら 1991）。

4. 2 使用データ

MOS-1/MSR はデータレコーダを持っていないので、観測データは地上受信局でリアルタイムに受信できる分のデータしか取得できない。MOS-1 運用当時、日本が開発した MOS-1 の海外受信処理局のひとつに、タイ地上局があった。ここで受信処理された、バングラデシュの MSR 観測画像データを用いた。

図 4.2 に、主に使用した MSR パス 50 のデータの範囲と、湛水面積を算出したテストエリアを示す。

MSR は、23GHz と 31GHz の 2 周波数帯で観測している。偏波は、オフセット角 10 度で偏波差は有意でないため分波されておらず、この 2 チャンネルデータのみである。湛水面積を推定する方法として、単一チャンネルデータを用いる方法と、2 周波数帯の輝度温度差を用

いる方法が考えられる。次に、それぞれの方法について、誤差を見積もってみる。

単一チャンネルとしては、空間分解能のより高い 31GHz のほうが適している。また、水蒸気吸収帯からも 23GHz 帯より 31GHz 帯のほうが離れているので、陸地を見る場合には 31GHz 帯のほうがよいと考えられる。第 3.1 節で述べたように、水と陸地が混在している場合のアンテナ輝度温度のダイナミックレンジは、およそ 120K から 290K の約 170K 有るとする。バングラデシュの平野部とヒマラヤ山地では、陸域の地表面物理温度に約 20K の差異がある。また、大気の状態も一様ではない。しかし、陸域の大気の変動分を直接測定するのは困難である。そこで、ベンガル湾洋上での 31GHz 帯のアンテナ輝度温度の変動を測定してみたところ、標準偏差にして 6K 程度であったことから、陸域の大気のゆらぎは 10K 程度まで有り得ると考えられる。よって、湛水面積を算出する際に、ダイナミックレンジ 170K に対して合計 30K 程度の変動分があり、これは、20%弱の誤差があることを意味する。

一方、2周波数帯の輝度温度差を用いる方法では、水域での2周波間の放射率の差が、陸域での2周波間の放射率の差よりも十分に大きい事を利用する。完全な水域での 23GHz と 31GHz のアンテナ輝度温度差は、ベンガル湾洋上での実測値から、約 30K であった。完全な陸域でのアンテナ輝度温度差は、ほとんどゼロ K であるから、ダイナミックレンジは、およそ 30K である。主な誤差要因としては、(1) 陸域の物理温度変化に対する観測輝度温度差変化、(2) 水域の物理温度変化に対する観測輝度温度差変化、(3) 大気の状態の変動に対する観測輝度温度差変化の3点が考えられる。(1)については、大気が希薄で水蒸気の影響のほとんど無いチベット高原での MSR アンテナ輝度温度差データが約 4K であったことから、陸域における2周波間の放射率の差が 0.02 程度であり、陸域の物理温度変動の 20K に対して観測輝度温度差は 0.4K 程度であることが分かる。(2)については、バングラデシュ平地部の水温変動が年気温の変動から推定して最大 10K 程度と見積もった場合、水域での2周波間の放射率の差が 0.1 程度であることから、観測輝度温度差は 1 K 程度であると考えられる。

(3)については、ベンガル湾における 23GHz の観測輝度温度の変動が最大 20K 程度であり、23GHz の輝度温度に対する 31GHz の輝度温度の相関は 0.9 程度、ゲインも 0.9 程度であることより、大気の状態による 20K の変動に対する観測輝度温度差変化は、2K 程度と見積もることができる。従って、この方法を用いて湛水面積を推定する場合、約 30K のダイナミックレンジに対して 3~4 K 程度の誤差が発生しうる。これは、10%強に相当する。

以上より、単一チャンネルデータを用いる方法より、2周波数帯の輝度温度差を用いる方法のほうが良い結果を与えることが期待されるので、今回は後者の方法で湛水面積を推定する。



図4. 1 バングラデシュ地図

(http://www.lib.utexas.edu/Libs?PCL/Map_collection/middle_east_and_asia/Bangladesh_rel96.jpg

より)

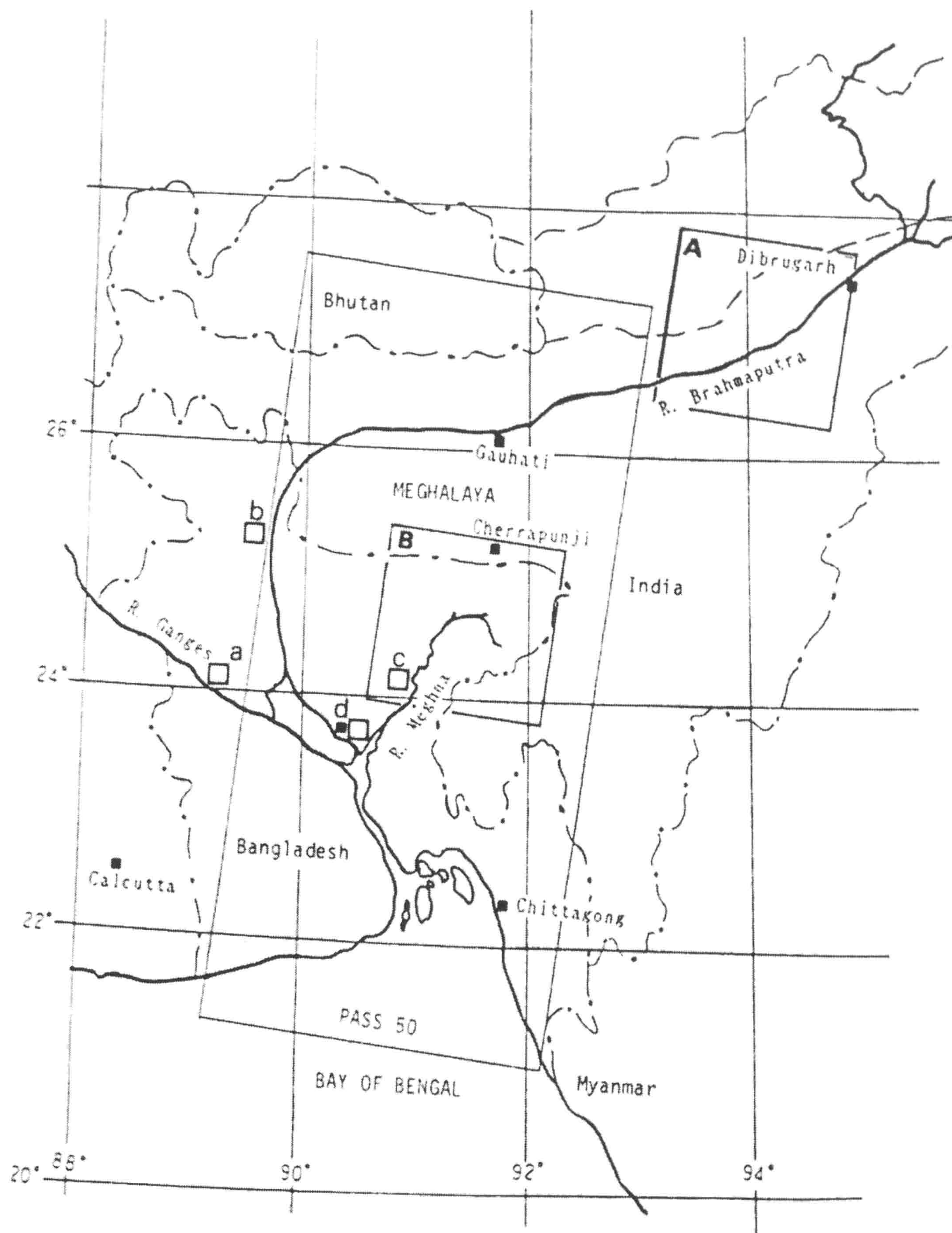


図4. 2 バングラデシュ周辺におけるMSRパス50のデータ取得範囲とテストエリア
 (エリアA: ブラマプトラ川上流、エリアB: メグナ川上流シロン地方、各160km四方)
 (a: Hardinge、b: Bahadurabad、c: Bhairab、d: Mill-Barack)

4. 3 湛水面積の変化

上述したとおり、2周波数帯の輝度温度差を用いる方法でMSRデータから湛水面積を推定してみる。図4.3に、1988年5月から1989年1月までの23GHzと31GHzそれぞれの単チャンネルの画像を示す。陸地は両チャンネルとも同レベルの輝度温度だが、湛水域、海水域ともに輝度温度は31GHzのほうが低い。図4.4に、1988年5月から1990年5月までの2年間の23GHzと31GHzの輝度温度差画像を示す。海の部分は、陸地の湛水域と区別が付きにくくなるので、青く塗りつぶして除外してある。オフセットを100Kにとってあるので、実際の差分は、100K引いた値である。輝度温度差が7K以下の場所は、水面が含まれない陸域である。32Kのところは完全に水域である。従って、輝度温度差が1K増す毎に、その画素が対応する面積において4%ずつ水域が増加する。

図4.2に示したパス50の長方形(衛星進行方向700km×直交方向320km)の中での湛水面積を積算した。1988年5月17日には、既に43,000km²が湛水しており、6月3日には63,000km²に拡大していた。8月10日には79,000km²、9月13日には81,000km²と、取得データ中では最大値であった。水位計の記録データによれば、実際、1988年洪水は9月1日がピークであった。

図4.5は、ガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川の合流地点の下流に位置するミルバラック(ダッカ中心から南東に約4kmのブリガンガ川左岸)での水位記録(玉井ら1989)に、MSRから測定した湛水面積をプロットしたものである。MSRデータは離散的なデータでしかないため、点線で傾向を推定してみた。グラフより、水位が上昇する過程では水位に比べて相対的に湛水面積は広く、水位が下降する過程では相対的に狭くなっていることが読み取れる。水位の変動は降雨に遅れて追従することから、尤もな傾向であろう。この地方は、勾配が緩やかなため、降雨直後は湛水面積が広く、徐々に集水して水位が上昇すると考えられる。

バングラデシュの国土は約14万km²なので、5月から10月までの約半年間は国土の30%以上が常に冠水していることになる。ピーク時には60%程も水没しているのである。洪水規模の大きさがよくわかる。

図4.6は、3河川のハイドログラフ(水位データ)(Choudhury 1988)である。下流部の洪水は、ガンジス、ブラマプトラ、メグナ川の流量の和として生じるが、それぞれの河川が同じ水位変動を示すわけではない。1988年洪水が、9月1日にピークを迎えたのは、ブラマプトラ川の水位が8月下旬に急上昇した(図4.6b)ことと関係がある。

図 4.2 に示したテストエリア A の湛水面積の変化を MSR パス 48 のデータから算出してみる。テストエリア A は、ブラマプトラ川上流の氾濫原を中心とする 160km 四方のエリアとして定義した。降雨による流量の変化に伴って水没面積が変動するはずである。

6月1日にはテストエリア A の 15.8%が湛水しており、7月22日には21.6%に拡大する。この間の水位変化は洪水面積変化と比例している。8月8日には湛水面積は 17.2%に縮小するが、水位も下降しているため、降雨が少なかった結果、湛水面積は水位の下降以上に縮小したものである。

次に8月25日には、面積は 22.7%に拡大し、MSR データの中ではピークをつけている。最後の9月28日のデータは、湛水面積 10.5%と急激に減少し、雨季の終息を告げている。河川水位はなお高いが、これは流出の遅延分であろう。

湛水面積はその後急速に縮小し、この地方では本格的な乾季を迎えるが、メガラヤ山地の南のシロン地区ではまだ湛水が続く。シロン地方のテストエリア B では、12月7日の時点で 12%、1月10日の時点でも 4%が湛水したまま残っている。これは、図 4.6 c に示すように、雨季から乾季への移行期においてメグナ川の水位は、ブラマプトラ川の水位ほど下降しないからであろう。

また、図 4.6 a のガンジス川の水位が8月末に上昇しているのは、MSR データ（8月30日のパス 53）に見られた、ガンジス川上流での大洪水が原因である。

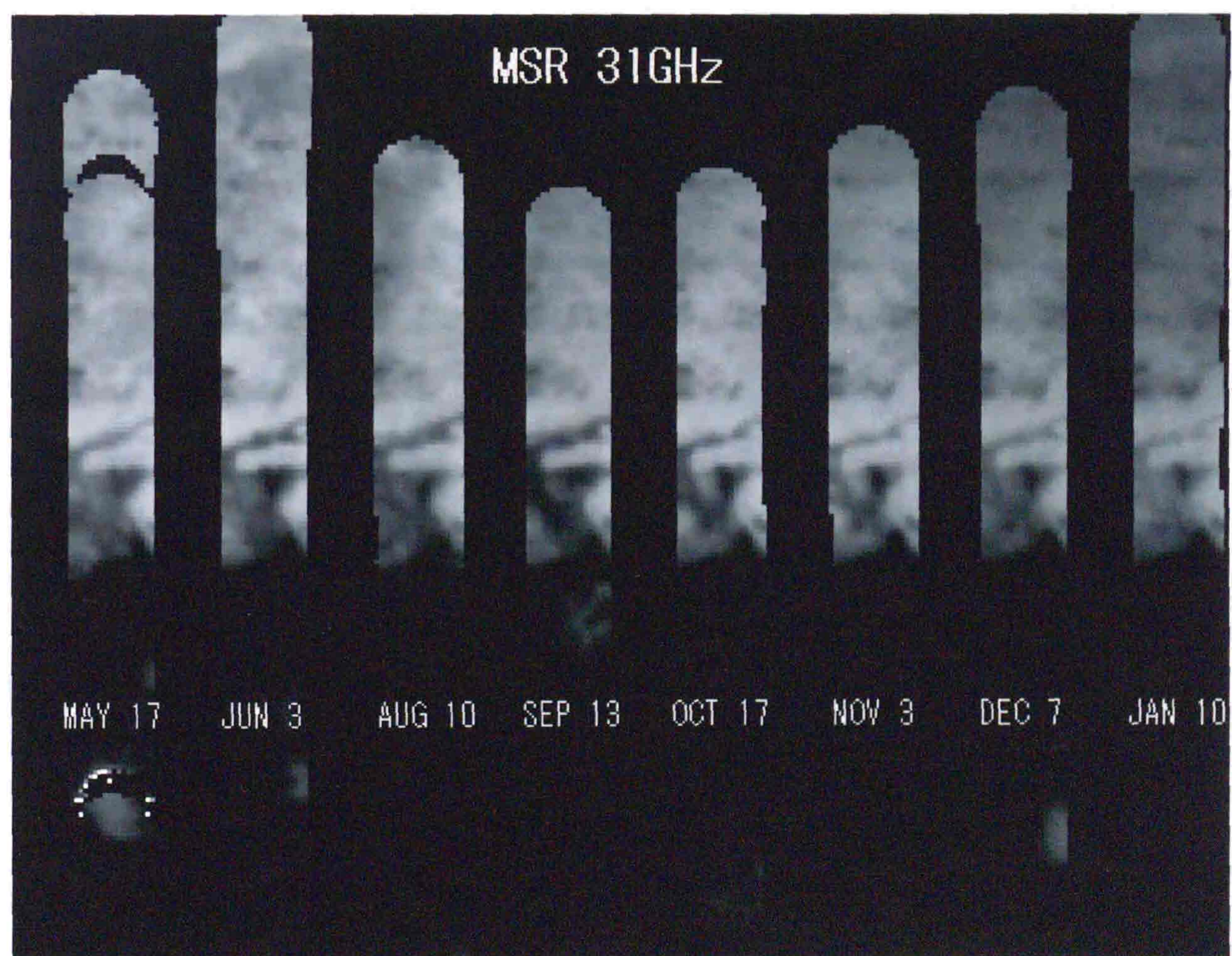
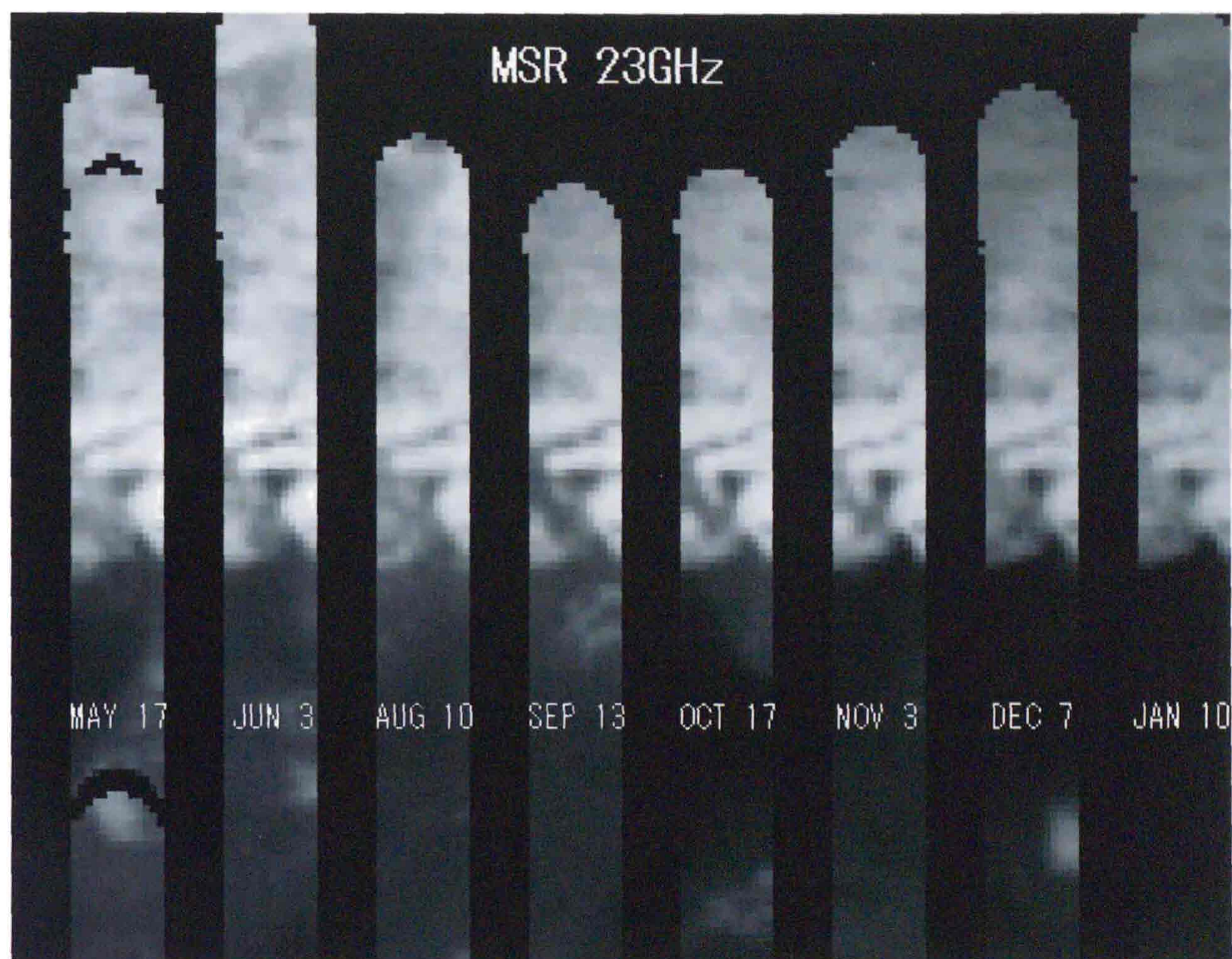


図4. 3 1988年5月から1989年1月までのMSR輝度温度画像
(上: 23GHz、下: 31GHz ; パス50)

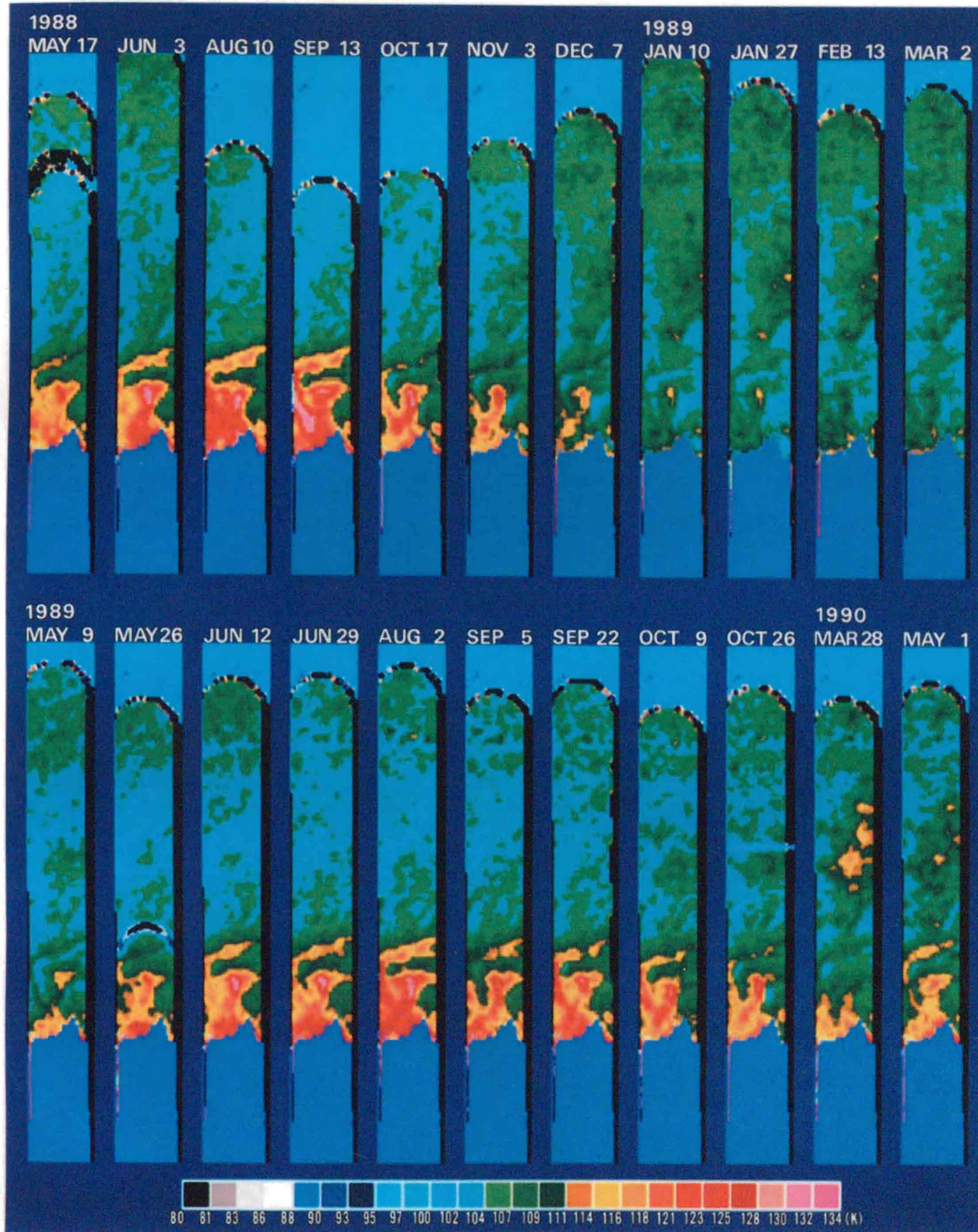


図4. 4 MSR輝度温度差画像 (23GHz-31GHz、Offset=100K) における1988年5月から1990年5月までのバングラデシュ洪水領域の変化

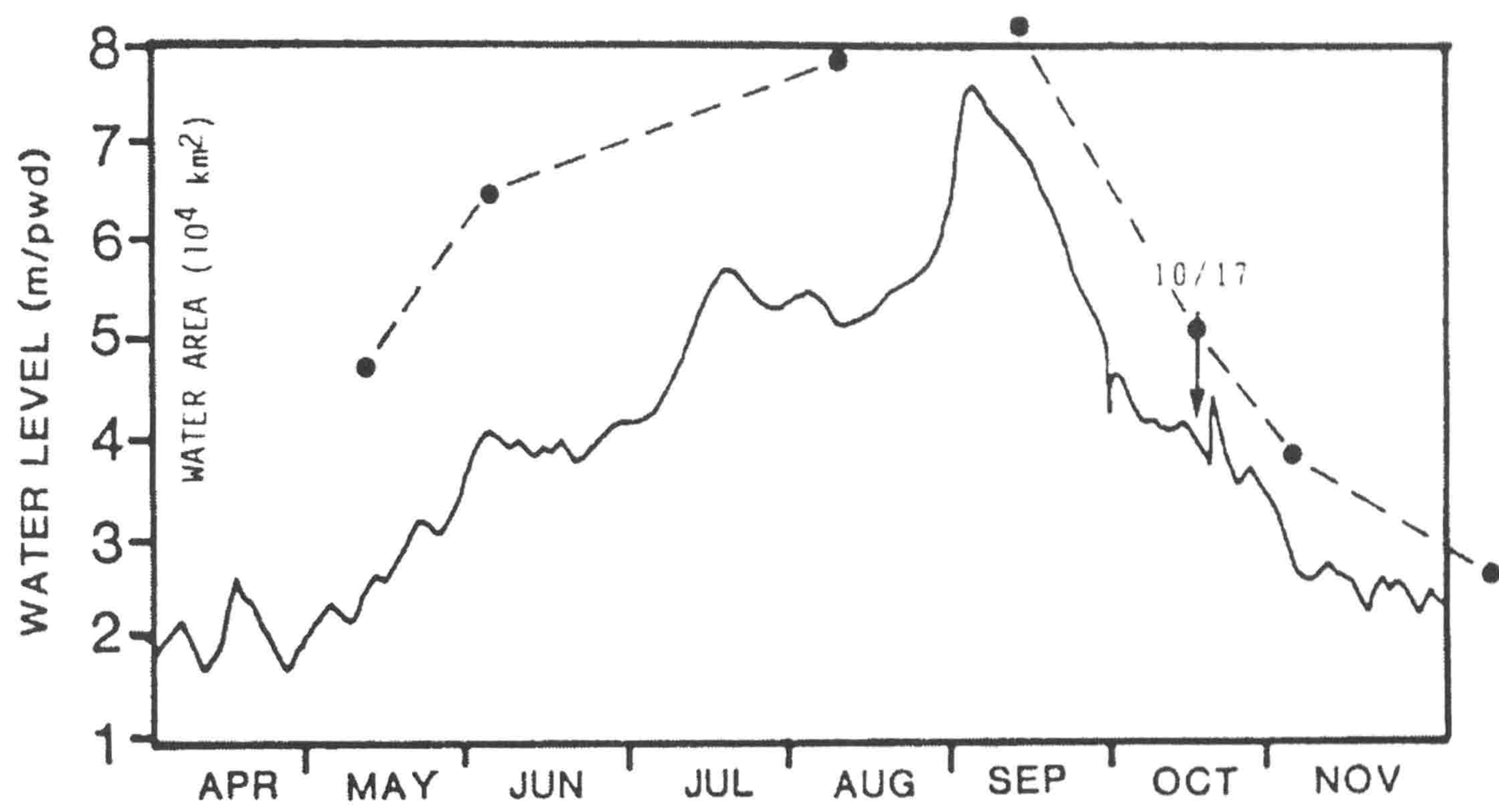


図4. 5 MSR から算出した湛水面積とミルブラックにおける水位データとの比較

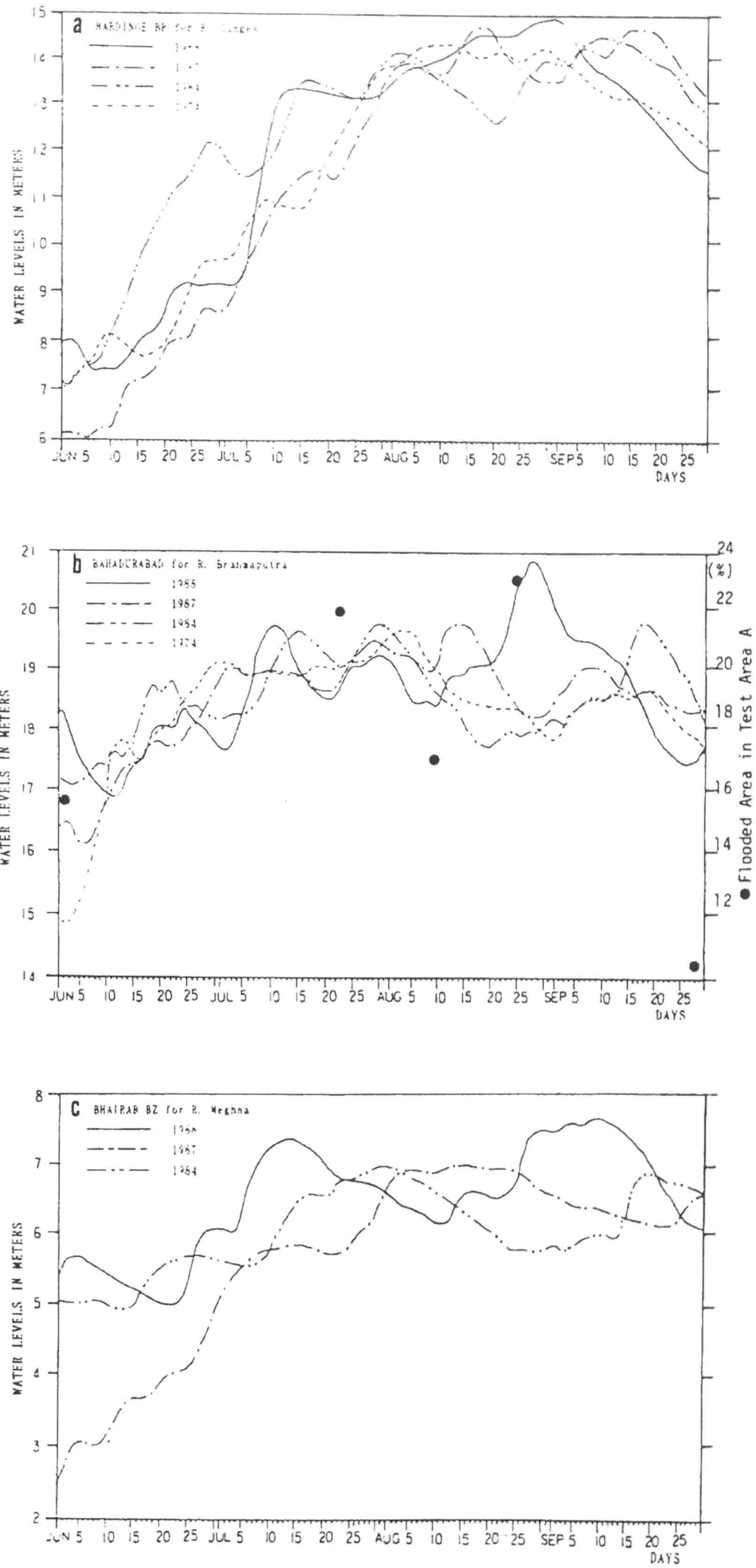


図4. 6 1988年洪水シーズンにおけるガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川の水位データ

4. 4 まとめ

この研究は、人工衛星高度からの 23GHz と 31GHz のマイクロ波輝度温度観測により、バングラデシュの雨季において、陸域と水域の割合を推定する理論を示したものである。この理論の推定精度は、推定値が 10%程度の観測誤差内に収まることが分かった。

次に、この理論を MOS-1/MSR の時系列データに適用し、バングラデシュの 1988 年洪水の経過を湛水面積の変化として捉えた。現地の水位観測データと照合したところ、湛水面積変化は水位変化に対して位相が先行するものの、ほぼ追随することが確認できた。

バングラデシュのように毎年恒常的に発生する洪水の大略的モニタリングとしては、極めて厚い雨雲が上空を覆うような特別な場合を除けば、ほぼ全天候型の観測が可能な MOS-1/MSR の性能は、実用レベルに近いものであるということを見出した。しかし、日本で発生するような局地的小規模の洪水観測に関しては、空間分解能が 1 桁高い、ビーム効率のよいマイクロ波放射計の開発が必要であろう。