

清水建設(株) 正員 ○垣見康介
 京都大学防災研究所 正員 池淵周一

1 はじめに 全球規模での環境変化に大きな影響を与える広域水循環を解明するための有力な情報として衛星観測による取得情報が期待されている。本研究では間欠的な衛星観測情報から実現象をどの程度把握することができるのかについての精度調査を目的としている。また、現時点においては精度調査を行うための地上観測データが入手困難な地域も多い。そのような地域についても評価精度に関する検討を可能にするためのアプローチとして広域降雨場モデルによるシミュレーションを展開する。

2 評価精度の算定方法 今回解析の対象としたのは 200^2 km^2 の正方領域における月平均面積降雨強度である。また、観測衛星としては1997年打ち上げ予定の TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 衛星を想定する。地上観測値系列から衛星飛来時刻、その時刻の衛星による観測範囲に含まれるデータを抽出し、面積に比例した重み付き平均値を算定する。こうして得られる月平均面積降雨強度と、地上観測値による全データを用いたそれとの相対誤差によって評価精度を算定する。地上観測値としては、深山レーダー雨量計による実測値と降雨場モデルによる出力値を用いる。深山レーダー雨量計のデータは最低仰角の 0.4° で観測された水平方向のものであり、その分解能は時間的には5分、空間的には東西、南北方向とも3kmである。

3 広域降雨場モデル 今回提案するモデル¹⁾は物理モデルでなく、確率モデルであり、 200^2 km^2 という広域の降雨現象を、1ヶ月間におよぶ長期間にわたってシミュレートする。純粋に確率的でありながら、より物理的な時間、空間分布を再現可能とするため、大きく分類して、[1] レインバンドの発生²⁾、[2] レインセルの発生³⁾、[3] レインセルから降雨強度への変換⁴⁾、という3つのプロセスから構成される。

各時刻において空間相関を保存するように発生させた乱数群からレインバンドの発生率として定義す

るしきい値 f を超えたものについてレインバンド中心とする。時刻 t_{b0} に発生したレインバンドの中心を (x_{b1}, x_{b2}) として、時刻 t におけるレインセルの発生位置 (x_1, x_2) の確率密度関数をつぎのように表す。

$$f(t; \mathbf{x}) = f^{(1)}(t) f^{(2)}(\mathbf{x})$$

$$f^{(1)}(t) = \alpha \exp\{-\alpha(t - t_{b0})\}$$

$$f^{(2)}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x1}\sigma_{x2}\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\right. \\ \times \left[\left(\frac{x_1 - x_{b1}}{\sigma_{x1}}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{x_1 - x_{b1}}{\sigma_{x1}}\right) \right. \\ \left. \times \left(\frac{x_2 - x_{b2}}{\sigma_{x2}}\right) + \left(\frac{x_2 - x_{b2}}{\sigma_{x2}}\right)^2\right]\left.\right\}$$

ここで、 α はセル発生数の時間の経過にともなう減少の度合いを示すパラメータであり、 σ_{x1} 、 σ_{x2} 、 ρ はそれぞれ x_1 方向、 x_2 方向のセル発生位置の確率密度の空間的広がりを規定するパラメータ、 ρ はバンド幅を規定するパラメータである。

つぎに、時刻 t_{c0} に地点 $\mathbf{x}_c(x_{c1}, x_{c2})$ に中心の降雨強度 i_0 をもって発生したレインセルは時刻 t に地点 $\mathbf{x}(x_1, x_2)$ に次式で表される降雨強度をもたらすものとする。

$$g_{i_0}(t - t_{c0}; |\mathbf{x} - \mathbf{x}_c|) = i_0 \exp\{-\beta(t - t_{c0})\} h(d)$$

$$d = \sqrt{(x_1 - x_{c1})^2 + (x_2 - x_{c2})^2}$$

ここで、レインセル中心の降雨強度 i_0 は対数正規分布にしたがうものとする。また、 β は降雨強度の時間的減衰の度合いを規定するパラメータである。

$h(d)$ はレインセルの階層構造を再現するため、次式で定義する。

$$h(d) = \begin{cases} 1 - \frac{d}{D_1} & 0 \leq d \leq D_1 \\ \frac{1}{e} & D_1 \leq d \leq 2D_1 \\ \exp(-\frac{d}{2D_1}) & 2D_1 \leq d \end{cases}$$

ここで d はレインセル中心からの距離、 D はレインセルの広がりを規定するパラメータであり、 D_1 は降雨強度が $1/e$ となる距離とする。

また、時間ステップは5分、空間ステップは3kmとし、地上レーダ雨量計による観測と同等の分解能の出力を得るものとする。レインバンド、レインセルの発生確率には標高によるクラス分けを設定しており、山岳地等標高の高い地域では発生しやすくしている。モデル出力の一例を図1に示す。等値線は1,5,15,30 mm/hを表し、また図中の時刻は形式的なものであって実際のその時刻の降雨場を再現したものではないことを断っておく。なお、使用したパラメータの値については表1に示す。

4 評価精度の算定結果 深山レーダー雨量計によって観測された1991年7月の実測値を真の平均値とみなした場合(case a)と、降雨場モデルによる出力値を真の平均値とみなした場合(case b)の衛星観測による評価精度を表2に示す。算定にあたっては降雨域の時間的、空間的分布が評価精度にどのように反映されるのかをみるため、衛星の初期位置を経度を10°ずつずらして行った。表中、誤差の欄における()の数値はそのときの衛星初期位置の経度を表し、東経0°から反時計回りに定義した。

5 結論 近畿地方の200² km²における月平均降雨強度はおよそ20～30%の誤差を伴った評価となることがわかった。また、月平均降雨強度の評価精度は衛星観測の間欠的なサンプリング特性のために大きなばらつきがあることがわかった。これについては複数衛星による観測を想定して同様な算定を行ったところ、観測機会数に反比例して誤差が減少し、評価精度も安定するという結果も得られており、衛星観測取得情報をより信頼性の高いものとするための非常に有力な手段であるといえる。

また、降雨場モデルに関してはさらに多数回の試行を通した多次元的な検討も必要ではあるが、現時点においても時間的、空間的に実現象の備える確率構造を保存して降雨を発生することができたと考える。これによって現在実測データの入手が困難な地域においても、降雨現象の統計的性質を反映させたシミュレーションを通した評価精度算定の可能性が期待でき、代表的気候区での評価精度の概略値が得られることにもなる。すなわち、今後ますます増加すると予想される衛星観測によるミッションにお

表1 モデルに使用したパラメーター一覧	
パラメータ	記 述
f	$\approx 5.25 \times 10^{-8}$ (bands/min/km ²)
α	6.6×10^{-3} (min)
$(\sigma_{x1}, \sigma_{x2})$	(30.0, 50.0) (km)
ρ	0.85
i_0	対数正規分布 $L(2.2, 1.1)$ (mm/h)
D	ガンマ分布 $\Gamma(4.68, 2.58)$ (km)
β	0.025 (1/min)

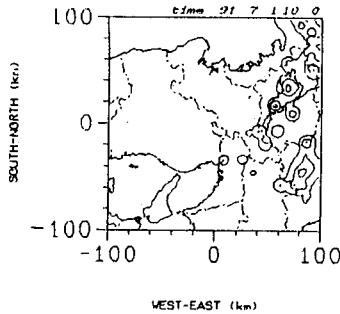


図1 モデルによる出力の一例

表2 月平均降雨強度の評価精度の算定結果

	case a	case b
真の平均値 (mm/h)	0.3394	0.3348
最大誤差 (%)	71.4 (90)	49.8 (70)
最小誤差 (%)	0.2 (20)	5.4 (210)
平均誤差 (%)	20.7	25.1

いて、それらの取得情報の精度の概略値が得られていることになり、本研究の成果が衛星観測取得情報を有効利用するために貢献するものとする。

参考文献

- 垣見康介,1994:広域降雨場モデルを用いた衛星観測取得情報の評価精度に関する研究,京都大学修士論文
- Thomas L.Bell,1987:A Space-Time Stochastic Model of Rainfall for Satellite Remote-Sensing Studies,Jour. Geophys. Res. vol 92, pp. 9631-9643.
- Rodriguez-Iturbe and Peter S.Eagleson,1987: Mathematical Models of Rainstorm Events in Space and Time, Water Resour. Res. vol.23,pp. 181-190.
- 高棹,椎葉,渡邊,入江,1992: 階層構造を考慮した降雨場の統計的解析,第47回土木学会年次学術講演会概要集第2部