

위성관측을 위한 합리적인 복사수송모형과 그것의 효과성평가

김원국, 량철호

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《공해를 방지하는데서 가장 중요한것은 대기와 물의 오염을 철저히 막는것입니다. 공기와 물은 사람의 생존과 활동의 근본원천이며 공기와 물을 떠나서는 사람은 물론 그 어떤 생명체의 생존에 대해서도 생각할수 없습니다.》(《김정일선집》 증보판 제22권 311페이지)

위성자료에 의한 기상요소회복의 정확도를 높이는것은 기상위성의 대기 및 지표면관측자료를 응용하는데서 나서는 중요한 문제이다.

기상위성의 관측자료로부터 회복되는 기상요소는 일정한 오차를 포함하는데 이 오차는 크게 두가지 원인에 의하여 발생된다.

그 하나는 관측기구자체의 성능제한에 의한 오차 즉 기구오차이고 다른 하나는 관측자료의 처리과정에 발생하는 오차로서 관측자료의 예비처리과정에 생기는 오차와 회복과정에 생기는 오차가 중요한 비중을 차지한다.

우리는 기상요소회복의 정확도를 높이는데서 원격관측을 위한 합리적인 복사수송모형을 제기하고 그 효과성평가에 대하여 연구하였다.

1. 기상요소회복에 리용되는 복사수송방정식

대기온도를 비롯한 기상요소의 수직분포를 X 로, X 에 해당하는 복사를 Y 로 표기하면 기상요소의 수직분포와 복사와의 관계는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$Y=F(X) \quad (1)$$

식 (1)로부터 알수 있는바와 같이 기상요소의 수직분포가 알려지면 위성에서 측정하는 복사를 구할수 있는데 이것을 대기복사학의 기본 시초문제 혹은 선행문제(정문제)라고 한다. 한편 위성에 의한 위성관측에서는 식 (1)의 거꾸로문제(역문제)를 취급하는데 이것이 바로 기상요소의 회복이다. 그러므로 식 (1)을 해석적으로 정확히 표현해야 정문제도, 거꾸로문제도 옳바로 풀어나갈수 있다.

지금까지 기상요소회복을 비롯한 많은 문제풀이에서 주로 리용되는 방정식은 다음과 같다.[1-3]

$$R_{\lambda} = B_{\lambda}(T_s)\tau_{\lambda}(p_s) + \int_{p_s}^0 B_{\lambda}[T(P)]d\tau_{\lambda} \quad (2)$$

여기서 B_{λ} 와 τ_{λ} 는 파장 λ 에서의 플랑크복사와 대기투과율이다.

식 (2)는 위성이 수감하는 복사를 정확히 반영하지 못한다.

이를 극복하기 위하여 슈와르츠실트의 복사수송방정식을 논의한다.[2]

$$\begin{cases} \frac{dG_\lambda}{dm} - \frac{k_\lambda}{\cos\theta} G_\lambda = -\frac{k_\lambda}{\cos\theta} B_\lambda \\ \frac{dR_\lambda}{dm} + \frac{k_\lambda}{\cos\theta} R_\lambda = \frac{k_\lambda}{\cos\theta} B_\lambda \\ \frac{dS_\lambda}{dm} - \frac{k_\lambda}{\cos\theta} S_\lambda = 0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 G_λ 와 R_λ 는 각각 아래방향과 윗방향의 장파복사, S_λ 는 태양복사, k_λ 는 흡수계수, θ 는 천정각이며 m 은 광학적두께이다.

이제 경계조건 $\begin{cases} G_\lambda(\infty)=0 \\ R_{\lambda s} = \varepsilon_{\lambda s} B_\lambda(T_s) + (1-\varepsilon_{\lambda s})G_\lambda \end{cases}$ 를 리용하면 식 (3)의 첫번째와 두번째 방정식의 풀이는 다음과 같다.

$$G_\lambda = \int_0^{p_s} B_\lambda(T_s) d\tau_\lambda \quad (4)$$

$$R_\lambda = \varepsilon_{\lambda s} B_\lambda(T_s) + (1-\varepsilon_{\lambda s})G_\lambda + \int_0^{p_s} B_\lambda(T) d\tau_\lambda \quad (5)$$

여기서 ε 은 방사률이다.

기상위성의 대기관측에서는 R_λ 를 기본관측하는데 그것은 다음과 같다.

$$R_\lambda = \varepsilon_{\lambda s} B_\lambda(T_s) \tau(p_s) + \int_p^0 B_\lambda(T) d\tau_\lambda + (1-\varepsilon_{\lambda s}) \int_p^0 B_\lambda(T) d\tau_\lambda^* \quad (6)$$

식 (6)에는 식 (2)에 비해 세번째 항이 더 첨부되어있다. 이 항은 다른 항들에 비하여 크기가 작지만 기상요소회복의 정확도에 일정한 영향을 준다. 특히 마이크로파대역의 관측자료가 기상요소회복에 리용되는 경우 세번째 항이 중요한 역할을 한다.

2. 위성자료에 의한 온도회복의 정확도평가

식 (6)을 항별로 따져보면 첫 항은 위성관측기구가 수감하는 복사에 대한 지표면복사의 기여몫이고 둘째 항은 대기윗방향복사의 기여몫이며 셋째 항은 반사되는 대기아래방향복사의 기여몫이다. 이때 지표면온도 T_s 는 다음과 같다.

$$T_s = \frac{c_2}{\lambda} \ln^{-1} \left\{ \varepsilon \tau_s c_1 \left/ \left\{ \lambda^5 \left[R - \int_{p_s}^0 B(T) d\tau - (1-\varepsilon) \int_0^{p_s} B(T) d\tau^* \right] \right\} + 1 \right\} \quad (7)$$

이제 식 (7)을 ε 에 관하여 미분하고 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial T_s}{\partial \varepsilon} = \frac{\lambda T_s^2}{c_2 \varepsilon} \left[1 - \left(B(T_s) \tau_s - \int_0^{p_s} B(T) d\tau^* \right) \left/ \left(\frac{c_1 \tau_s}{\lambda^5} \right) - \int_0^{p_s} B(T) d\tau^* \right/ (B(T_s) \tau_s) \right] \quad (8)$$

식 (8)에서 오른쪽괄호안의 두번째 항은 다음과 같이 추정할수 있다.

$$\frac{B(T_s)\tau_s - \int_0^{p_s} B(T)d\tau^*}{c_1\tau_s/\lambda^5 + B(T_s)\tau_s} \leq \frac{B(T_s)\tau_s}{c_1\tau_s/\lambda^5 + B(T_s)\tau_s} \leq \frac{B(T_s) \cdot \lambda^5}{c_1} = \frac{1}{\exp(c_2/\lambda T_s) - 1} \quad (9)$$

$\lambda = 1.1 \times 10^{-5} \text{m}$, $T_s = 300 \text{K}$, $c_2 = 1.44 \times 10^{-2} \text{mK}$ 를 식 (9)에 대입하면 0.013보다 작으므로

$$\frac{\partial T_s}{\partial \varepsilon} \approx -\frac{\lambda T_s^2}{c_2 \varepsilon} \left[1 - \left(B(T_s)\tau_s - \int_0^{p_s} B(T)d\tau^* \right) / (B(T_s)\tau_s) \right] \quad (10)$$

이며 식 (10)은 식 (8)의 근사식으로 된다.

만일 표면에서 반사되는 아래방향의 대기복사가 일정한 값범위에서 주어졌다고 할 때 (팔호안의 적분항) 그것을 고려하지 않고 반사률변화에 따르는 온도변화의 크기를 계산하면 $\partial T_s / \partial \varepsilon = -68.9 \text{K} / \text{단위반사률}$ 이다. 이것은 다른 모든 항들이 정확히 주어졌을 때 표면반사률에서 1%오차가 온도회복에서 0.69K의 오차를 가져오는것으로 된다.

다음 식 (6)이 수직온도분포회복에 주는 효과성을 평가하기 위하여 기상위성 NOAA의 AMSU-A의 일부 수직온도관측통로를 리용한다. 전지구 ATOVS추정자료를 리용하여 식 (2), (6)에 의해 계산된 밝기온도와 라지오존드에 의한 수직온도관측자료와의 차이를 표에 주었다.(A는 식 (6)을 리용한 경우, B는 식 (2)를 리용한 경우)

표. 계산된 온도와 관측된 온도의 비교

AMSU-A 통로번호	$\Delta T(A)$ /K	$\Delta T(B)$ /K	AMSU-A 통로번호	$\Delta T(A)$ /K	$\Delta T(B)$ /K
5	1.8	2.5	8	2.3	2.8
6	2.0	3.1	9	2.1	3.0
7	1.5	1.9	10	1.4	1.8

표에서 보는바와 같이 지표면반사항은 수직온도관측인 경우에도 일정한 역할을 한다는것을 알수 있으며 그 정도는 마이크로파관측통로인 경우에 더 크다는것을 알수 있다.

맺 는 말

기상위성의 대기원격관측을 위한 복사수송방정식에서 반사복사의 영향을 고려하는것이 중요하다.

지표면반사률은 지표면(바다면)온도의 원격관측뿐만아니라 대기온도의 수직분포회복에도 일정한 영향을 준다.

참 고 문 헌

- [1] 고상복; 기상위성에 의한 원격수감의 응용, 농업출판사, 78~86, 주체103(2014).
- [2] A. Kuznetsov; Remote Sensing of the Environment and Radiation Transfer, Spinger, 7~17, 2012.
- [3] R. C. Bhatia; Indian Journal of Radio Space Physics, 36, 2, 44, 2007.

주체105(2016)년 4월 5일 원고접수

A Rational Radiative Transfer Model for Satellite Sensing and Its Effectiveness Estimation

Kim Won Guk, Ryang Chol Ho

We suggested a rational radiative transfer model as a way for high accuracy of meteorological element retrieval and studied to estimate its effectiveness.

It is important to consider influence of reflection radiation in radiative transfer equation. The emission of surface has some effects on vertical distribution retrieval of atmosphere temperature.

Key word: satellite remote sensing