

# 質疑応答

質問は、東京都千代田区大手町 1-3-4, 気象庁内  
日本気象学会天気編集委員会宛、どうぞ

問：エマグラムなどで用いられる湿潤断熱曲線は実際にどうやって求めるのですか。具体的な計算方法を教えてください。（東京管区気象台 一会員）

答：1. 湿潤断熱線とは

水蒸気をつねに飽和に保ったまま湿潤空気を断熱膨脹させたとき（実際大気中で空気が上昇する場合を考えている）、気圧  $p$  と気温  $T$  がどのように変化するか、その経過を  $p$ - $T$  平面上に描いたものが湿潤断熱線である。湿潤断熱線を描くにあたっては、考えている空気系中の水蒸気は飽和蒸気圧に保たれ、余分の水蒸気はすべて凝結すると仮定するが、(1a) 凝結した水が空気系にとどまっていると仮定する場合と、(1b) 空気系の外に出てしまう（実際大気中の降水現象を考えている）と仮定する場合がある。さらに (2a) 気温が氷点下になると氷になると仮定する場合と、(2b) 過冷却水の状態にある（実際大気中でも過冷却水滴はふつうにみられる）と仮定する場合がある。エマグラム等に描かれている湿潤断熱線は、(1b) と (2b) を仮定してえられたものがふつうである。なお (1b) を仮定する断熱過程を偽湿潤断熱過程とよんでいる。

## 2. 計算方法

湿潤断熱線の計算方法を示した最近のものとしては Wurtele and Finke (1961) によるノートがある。以下彼らの手順を紹介する。

考えている湿潤空気系について次の式が導かれる：

$$(C_{pd} + r_0 C_w) \frac{dT}{T} - R_d \frac{dp_a}{p_a} + rd \left( \frac{L}{T} \right) + \frac{L}{T} dr = 0, (*)$$

ここに  $C_{pd}$  は乾燥空気の定圧比熱、 $r_0$  は水蒸気と水の混合比の和、 $C_w$  は水の比熱、 $R_d$  は乾燥空気の気体定数、 $p_a$  は乾燥空気の分圧、 $r$  は水蒸気の混合比、そして  $L$  は水の蒸発潜熱で  $T$  の函数として実験式で与えられる。

水蒸気の混合比は近似的に

$$r = \frac{0.62197 fe}{p_a}$$

とあらわされ、ここに  $e$  は飽和水蒸気圧で  $T$  の函数の実験式で与えられる。 $f$  は  $p$  と  $T$  できまる経験的係数で、1,000~1,006のはんいの値をとる。これから

$$dr = \frac{0.62197 f}{p_a} de - \frac{0.62197 fe}{p_a^2} dp_a$$

がえられ、(\*) に代入すると、次の形の式がえられる：

$$Adp_a = BdT + Cd \left( \frac{L}{T} \right) (**)$$

ただし、

$$A = \frac{1}{p_a} + \frac{0.62197 fe L}{R_d T p_a^2},$$

$$B = \frac{1}{R_d T} (C_{pd} + r_0 C_w) + \frac{0.62197 f L}{R_d p_a T} \frac{de}{dT},$$

$$C = \frac{0.62197 fe}{R_d p_a}$$

である。偽湿潤断熱過程では  $r_0$  の代りに  $r$  となる。

式(\*\*) を積分すれば  $p$  と  $T$  の関係が求まる。水に関するいくつかの実験値がふくまれているが、差分におきかえ電子計算機を用いれば容易に計算できる。差分  $\Delta T$  を与えれば、

$$p_a^{(n+1)} - p_a^{(n)}$$

$$= \frac{1}{A^{(n)}} \left[ B^{(n)} \Delta T + C^{(n)} \left( \frac{L^{(n+1)}}{T^{(n)} + \Delta T} - \frac{L^{(n)}}{T^{(n)}} \right) \right]$$

により順次計算される。なお気圧  $p$  は  $p = p_a + e$  によりえられる。

## 3. 結果

上記の式を用いて、1000 mb で  $30^\circ\text{C}$  という初期値を与え、偽断熱過程で  $-50^\circ\text{C}$  まで積算してみた。必要な数値は Wurtele らのノートに引用されたもの、および Smithsonian Table (1966年版) からとった。気温が  $-50^\circ\text{C}$  になる気圧は、 $\Delta T = -2^\circ\text{C}$  で  $p = 136.3$  mb,  $\Delta T = -0.5^\circ\text{C}$  で  $p = 145.1$  mb,  $\Delta T = -0.25^\circ\text{C}$  で  $p = 146.5$  mb,  $\Delta T = 0.1^\circ\text{C}$  で  $p = 147.4$  mb,  $\Delta T = -0.05^\circ\text{C}$  で  $p = 147.7$  mb であった。彼らは  $\Delta T = -0.25^\circ\text{C}$  で最大計算誤差 0.3 mb とみつもっているが、1~2 mb くらいはあると思われる。

## 4. むすび

湿潤断熱線は、水に関する実験値をふくめ実際に数値を与え差分式を積算することによりえられる。計算誤差を小さくするには  $|\Delta T|$  を小さくした方がよいが、水に関する実験値の与え方により 1~2 mb のずれはさげられない。計算手順はちがうが、前述 Smithsonian Table にも湿潤断熱線の数値が  $2^\circ\text{C}$  きざみに与えられている。これによると、 $30^\circ\text{C}$ 、1000 mb から出発して  $-50^\circ\text{C}$  になるのは 150.1 mb となっている。気象庁エマグラム (1969年版予報天気図用紙 801号) の湿潤断熱線についても(\*\*)式で計算したものと比較してみたが、その差はせいぜい 1~2 mb であった。