

津波警報の情報価値との関係が明確な適切な採点法 Proper scoring systems with definite connections to information values of tsunami warn- ings

林 豊^{1*}
HAYASHI, Yutaka^{1*}

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

新たな予測手法を導入して津波警報を確実に改善するには、予報精度を適切に評価する採点法が存在し、新手法を導入した場合に発表されるであろう予報の採点結果（スコア）が従来手法による予報のスコアを上回ることが必要条件である。しかし、この条件を満たす手順を経て津波警報の新手法が導入された実績はなく、それどころか、津波警報を採点する適切な方法も知られていない。

雨が降るか降らないかのように現象の有無を対象とする二値予報を対象とした採点法で、気象予報の分野で広く使われるものには、予報を利用した場合の効用増加分の期待値と結び付けられたものがある。その際、予報利用者が現象に備える対策コスト（C）と無対策時のロス（L）に対する効用関数（U）が既知で、現象が有ると予報されれば必ず対策をとると仮定する。また、予報の保全対象のコスト／ロスモデルとして $U(-C)/U(-L)$ について単純な確率密度分布を仮定している。一般には、ある予測対象セット（例えば一定期間）の現象の有無について、予報あり実況あり（的中 N_a ）、予報あり実況なし（空振り N_b ）、予報なし実況あり（見逃し N_c ）、予報なし実況なし（的中 N_d ）の各頻度である4つの数値を式にあてはめて、スコアが算出される。例えば、スキルスコア（ETS $\equiv (N_a - K)/(N_a + N_b + N_c - K)$ 、ただし $K \equiv (N_a + N_b) \cdot (N_a + N_c)/(N_a + N_b + N_c + N_d)$ ）がこのような採点法である。

本研究では、津波警報の情報の性格に合った採点法を新たに開発するために、以下の全ての条件を満たす採点式を導出した。

- (1) 津波警報なし実況なしの的中頻度は計数不可能なため、 N_d を用いないスコアであること。
 - (2) 津波警報ありの場合に予報利用者が必ず対策を取るという仮定は実態に即していない。そこで、予報利用者は、津波警報ありの場合、対策を取ると取らないの二つの選択肢から選び、津波警報なしの場合、常に対策を取らないとする。効用の変化量は、対策を取る時は $U(-C)$ 、無対策で現象が起きる時は $U(-L)$ とする。
 - (3) 予報利用者は、警報の空振り率（ $FAR \equiv N_b/(N_a + N_b)$ ）の期待値、および、 $U(-C)$ 、 $U(-L)$ を知っており、期待効用（ $E_x(U)$ ）を最大化する行動を選択するという合理的な意思決定をする。対策を取れば $E_x(U) = FAR \cdot U(-C)$ 、対策を取らなければ $E_x(U) = (1 - FAR) \cdot U(-L)$ であるから、 $U(-L)/U(-C) < FAR/(1 - FAR)$ を満たせば対策を取らない方が合理的である。これは、空振り率が高いほど、無対策で現象が起きて失う効用が大きいほど、また、対策を取ることで失う効用が小さいほど、警報は無視されやすいことをモデル化したものである。
 - (4) 保全対象の $U(-C)/U(-L)$ の確率密度について、(a) 一様モデル $f(x) = 1, 0 \leq x \leq 1$ 、(b) 単調減少モデル $f(x) = 2 - 2x$ 、(c) 単調増加モデル $f(x) = 2x$ の三種の分布を仮定する。
 - (5) スコアは警報の情報価値に比例した値とする。ここで、予報利用者が(3)のとおり行動して、 $N_a + N_b$ 回の警報で、対策を取って失わずに済んだ効用と対策に要した効用の合計を(4)の分布について積分したものを ΔU とする。警報が存在しない場合には毎回 $-U(-L)$ の効用を失うので、それで割った $V \equiv -\Delta U / ((N_a + N_c)U(-L))$ を情報価値と定義する。
結果、(a),(b),(c)の各モデルから導かれるスコアは次のとおり。
(a) からは、 $V = N_a^2 / (2(N_a + N_b)(N_a + N_c))$ を得られる。優れた予報 $N_a \gg N_b$ かつ $N_a \gg N_c$ ならば、スレットスコア（ $CSI \equiv N_a / (N_a + N_b + N_c)$ ）を用いて、 $V \approx CSI/2$ と近似できる。
(b) からは、見逃し率 $M \equiv N_c / (N_a + N_c)$ を用いて $V = (2/3)(1 - FAR)(1 - M)(1 + M/2)$ が得られる。見逃しが少ない予報 ($N_c \ll N_a$) では $V \approx (2/3)(1 - FAR)(1 - M/2)$ となる。
(c) からは、 $V = (1 - FAR)^2(1 - M)/3$ が得られる。
- このように、最適な採点法は、災害対策によって異なるコスト／ロスモデルにより変わる。社会構造を反映した採点法を用いて、適した予測手法を選択するべきことが分かる。大会では、これら採点法の具体的な適用に向けての課題も議論したい。

キーワード: 期待効用理論, 合理的な意思決定, コスト／ロスモデル, スコア, 二値予報

Keywords: binary forecast, cost-loss model, expected-utility theory, rational decision-making, score