

付録 B 本報告で用いた表記と統計的検証に用いる代表的な指標

本報告で使用した表記と統計的検証に用いる代表的な指標などについて以下に説明する。

B.1 本報告で用いた表記

B.1.1 時刻の表記について

時刻を表記する際に、国内で通常用いられている日本標準時 (JST: Japan Standard Time) のほかに、協定世界時 (UTC: Coordinated Universal Time) を用いている。数値予報では国際的な観測データの交換やプロダクトの利用等の利便を考慮して、時刻は UTC で表記されることが多い。JST = UTC + 9 [h] である。

B.1.2 分解能の表記について

全球スペクトルモデルの分解能について、xx を水平方向の切断波数、yy を鉛直層数として、“TLxxLyy” と表記することがある。また、セミラグランジュ法のモデルで線形格子 (北川 2005) を用いる場合は“TLxxLyy” と表記する¹。例えば、北緯 30 度において、TL959 は約 20 km 格子、TL479 は約 40 km 格子、TL319 は約 55 km 格子、TL159 は約 110 km 格子に相当する。

B.1.3 予報時間の表記について

数値予報では、統計的な検証や事例検証の結果を示す際に、予報対象時刻のほかに、初期時刻からの経過時間を予報時間 (FT: Forecast Time²) として表記している。「予報時間」を「初期時刻から予測対象時刻までの経過時間」で定義し、例えば、6 時間予報の場合、FT=6 と表記しており、時間の単位 [h] を省略している。

B.1.4 アンサンブル予報の表記について

アンサンブル予報では、複数の予測の集合 (アンサンブル) を統計的に処理し、確率予測等の資料を作成する。予測の集合の平均を「アンサンブル平均」、個々の予測を「メンバー」と呼ぶ。また、摂動を加えているメンバーを「摂動ラン」、摂動を加えていないメンバーを「コントロールラン」と呼ぶ。

B.1.5 緯度、経度の表記について

緯度、経度について、アルファベットを用いて例えば「北緯 40 度、東経 130 度」を「40°N, 130°E」、「南緯 40 度、西経 130 度」を「40°S, 130°W」などと略記する。

B.1.6 予測期間に関する表記について

WMO (2010) の定義に従い、「短期予報」を 12 時間を越えて 72 時間先までを対象期間とする予測、「中期

予報」を 3 日を越えて 10 日先までを対象期間とする予測、「延長予報」を 10 日を越えて 30 日先までを対象期間とする予測と分類する。

B.1.7 全球モデルのバージョン表記について

気象庁の全球モデル (GSM: Global Spectral Model) のある特定のバージョンを示すために、「モデル名」「年の下二桁」「月の二桁」の表記を用いる。例えば、2014 年 3 月に導入されたバージョンを示す場合には、GSM1403 と表記する。

B.2 統計的検証に用いる基本的な指標

B.2.1 平均誤差、平方根平均二乗誤差、誤差の標準偏差、改善率

予測誤差を表す基本的な指標として、平均誤差 (ME: Mean Error、バイアスと表記する場合もある) と平方根平均二乗誤差 (RMSE: Root Mean Square Error) がある。これらは次式で定義される。

$$ME \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - a_i) \quad (B.2.1)$$

$$RMSE \equiv \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - a_i)^2} \quad (B.2.2)$$

ここで、 N は標本数、 x_i は予測値、 a_i は実況値である (実況値は客観解析値、初期値や観測値が利用されることが多い)。ME は予測値の実況値からの偏りの平均であり、0 に近いほど平均的な状態の実況からのずれが小さいことを示す。RMSE は最小値の 0 に近いほど予測が実況に近いことを示す。また、北半球平均等、広い領域に対して格子点値による平均をとる場合は、格子点が代表する面積の重みをかけて算出する場合がある。

RMSE は ME の寄与とそれ以外を分離して、

$$RMSE^2 = ME^2 + \sigma_e^2 \quad (B.2.3)$$

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - a_i - ME)^2 \quad (B.2.4)$$

と表すことができる。 σ_e は誤差の標準偏差であり、ランダム誤差と呼ばれる。

予測手法等に改良を加えた際の評価指標として、RMSE の改善率 [%] を用いる場合がある。RMSE の改善率は

$$RMSE \text{ 改善率} \equiv \frac{RMSE_{\text{cntl}} - RMSE_{\text{test}}}{RMSE_{\text{cntl}}} \times 100 \quad (B.2.5)$$

で定義する。ここで、 $RMSE_{\text{cntl}}$ は基準となる予測の、 $RMSE_{\text{test}}$ は改良を加えた予測の RMSE である。

¹ T は三角形 (Triangular) 波数切断を、TL の L は線形 (Linear) 格子を、L は層 (Level) をそれぞれ意味する。

² Forecast Range などと記述されることが多い。

B.2.2 アノマリー相関係数

アノマリー相関係数 (ACC: Anomaly Correlation Coefficient) とは、予測値の基準値からの偏差 (アノマリー) と実況値の基準値からの偏差との相関係数であり、

$$\text{ACC} \equiv \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) (A_i - \bar{A})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})^2}} \quad (-1 \leq \text{ACC} \leq 1) \quad (\text{B.2.6})$$

で定義される。ただし、

$$X_i = x_i - c_i, \quad \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (\text{B.2.7})$$

$$A_i = a_i - c_i, \quad \bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i \quad (\text{B.2.8})$$

である。ここで、 N は標本数、 x_i は予測値、 a_i は実況値、 c_i は基準値である。基準値としては気候値を用いる場合が多い。ACC は予測と実況の基準値からの偏差の相関を示し、基準値からの偏差の増減のパターンが完全に一致している場合には最大値の 1 をとり、相関が全くない場合には 0 をとり、逆に完全にパターンが反転している場合には最小値の -1 をとる。なお、ACC や付録 B.2.1 の ME, RMSE の関係は梅津ほか (2013) に詳しい。

B.2.3 スプレッド

スプレッドは、アンサンブル予報のメンバーの広がり示す指標であり、次式で定義される。

$$\text{スプレッド} \equiv \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (x_{mi} - \bar{x}_i)^2 \right)} \quad (\text{B.2.9})$$

ここで、 M はアンサンブル予報のメンバー数、 N は標本数、 x_{mi} は m 番目のメンバーの予測値、 \bar{x}_i は

$$\bar{x}_i \equiv \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_{mi} \quad (\text{B.2.10})$$

で定義されるアンサンブル平均である。

B.3 カテゴリー検証で用いる指標

カテゴリー検証では、まず、対象となる現象の有無を予測と実況それぞれについて判定し、その結果により標本を分類する。そして、それぞれのカテゴリーに分類された事例数を基に、予測の特性を検証するという手順を踏む。

表 B.3.1 カテゴリー検証で用いる分割表。FO, FX, XO, XX はそれぞれの事例数を示す。

		実況		計
		あり	なし	
予測	あり	適中 (FO)	空振り (FX)	FO+FX
	なし	見逃し (XO)	適中 (XX)	XO+XX
計		M	X	N

B.3.1 分割表

分割表は、カテゴリー検証においてそれぞれのカテゴリーに分類された事例数を示す表である (表 B.3.1)。付録 B.3.2 から B.3.11 に示す各スコアは、表 B.3.1 に示される各区分の事例数を用いて定義される。また、以下では全事例数を $N = \text{FO} + \text{FX} + \text{XO} + \text{XX}$ 、実況「現象あり」の事例数を $M = \text{FO} + \text{XO}$ 、実況「現象なし」の事例数を $X = \text{FX} + \text{XX}$ と表す。

B.3.2 適中率

適中率は、予測が適中した割合であり、次式で定義される。

$$\text{適中率} \equiv \frac{\text{FO} + \text{XX}}{N} \quad (0 \leq \text{適中率} \leq 1) \quad (\text{B.3.1})$$

最大値の 1 に近いほど予測の精度が高いことを示す。

B.3.3 空振り率

空振り率は、予測「現象あり」の事例数に対する空振り (予測「現象あり」かつ実況「現象なし」) の割合であり、次式で定義される。

$$\text{空振り率} \equiv \frac{\text{FX}}{\text{FO} + \text{FX}} \quad (0 \leq \text{空振り率} \leq 1) \quad (\text{B.3.2})$$

最小値の 0 に近いほど空振りが少ないことを示す。分母を $\text{FO} + \text{FX}$ としているが、代わりに N を用いる場合もある。

B.3.4 見逃し率

見逃し率は、実況「現象あり」の事例数に対する見逃し (実況「現象あり」かつ予測「現象なし」) の割合であり、次式で定義される。

$$\text{見逃し率} \equiv \frac{\text{XO}}{M} \quad (0 \leq \text{見逃し率} \leq 1) \quad (\text{B.3.3})$$

最小値の 0 に近いほど見逃しが少ないことを示す。分母を M としているが、代わりに N を用いる場合もある。

B.3.5 捕捉率

捕捉率 (H_r : Hit Rate) は、実況「現象あり」のときに予測が適中した割合であり、次式で定義される。

$$H_r \equiv \frac{\text{FO}}{M} \quad (0 \leq H_r \leq 1) \quad (\text{B.3.4})$$

最大値 1 に近いほど見逃しが少ないことを示す。捕捉率は、ROC 曲線 (付録 B.4.5) のプロットに用いられる。

B.3.6 誤検出率

誤検出率 (F_r : False Alarm Rate) は、実況「現象なし」のときに予測が空振りだった割合である。付録 B.3.3 の空振り率とは分母が異なり、次式で定義される。

$$F_r \equiv \frac{FX}{X} \quad (0 \leq F_r \leq 1) \quad (\text{B.3.5})$$

最小値の 0 に近いほど、空振りが少なく予測の精度が高いことを示す。誤検出率は捕捉率 (付録 B.3.5) とともに ROC 曲線 (付録 B.4.5) のプロットに用いられる。

B.3.7 バイアスコア

バイアスコア (BI: Bias Score) は、実況「現象あり」の事例数に対する予測「現象あり」の事例数の比であり、次式で定義される。

$$BI \equiv \frac{FO + FX}{M} \quad (BI \geq 0) \quad (\text{B.3.6})$$

予測と実況で「現象あり」の事例数が一致する場合に 1 となる。1 より大きいほど予測の「現象あり」の頻度が過大、1 より小さいほど予測の「現象あり」の頻度が過小であることを示す。

B.3.8 気候学的出現率

現象の気候学的出現率 P_c は、標本から見積もられる現象の平均的な出現確率であり、次式で定義される。

$$P_c \equiv \frac{M}{N} \quad (0 \leq P_c \leq 1) \quad (\text{B.3.7})$$

この量は実況のみから決まり、予測の精度にはよらない。予測の精度を評価する際の基準値の設定にしばしば用いられる。

B.3.9 スレットスコア

スレットスコア (TS: Threat Score) は、予測または実況で「現象あり」の場合の予測適中事例数に着目して予測精度を評価する指標であり、次式で定義される。

$$TS \equiv \frac{FO}{FO + FX + XO} \quad (0 \leq TS \leq 1) \quad (\text{B.3.8})$$

出現頻度の低い現象 ($N \gg M$ 、したがって、 $XX \gg FO, FX, XO$ となって、予測「現象なし」による寄与だけで適中率が 1 に近い現象) について XX の影響を除いて検証するのに有効である。TS は最大値の 1 に近いほど予測の精度が高いことを示す。なお、TS は現象の気候学的出現率の影響を受けやすく、異なる標本や出現率の異なる現象に対する予測の精度を比較するには適さない。この問題を緩和するため、次項のエクイタブルスレットスコアなどが考案されている。

B.3.10 エクイタブルスレットスコア

エクイタブルスレットスコア (ETS: Equitable Threat Score) は、気候学的な確率で「現象あり」が適

中した頻度を除いて求めたスレットスコアであり、

$$ETS \equiv \frac{FO - S_f}{FO + FX + XO - S_f} \quad \left(-\frac{1}{3} \leq ETS \leq 1\right) \quad (\text{B.3.9})$$

で定義される (Schaefer 1990)。ただし、

$$S_f = P_c(FO + FX) \quad (\text{B.3.10})$$

である。ここで、 P_c は現象の気候学的出現率 (付録 B.3.8) S_f は「現象あり」をランダムに $FO + FX$ 回予測した場合 (ランダム予測) の「現象あり」の適中事例数である。本スコアは、最大値の 1 に近いほど予測の精度が高いことを示す。また、ランダム予測で 0 となり、 $FO = XX = 0, FX = XO = N/2$ の場合に最小値 $-1/3$ をとる。

B.3.11 スキルスコア

スキルスコア (Skill: Skill Score, Heidke Skill Score) は気候学的な確率で「現象あり」および「現象なし」が適中した頻度を除いて求める適中率であり、

$$\text{Skill} \equiv \frac{FO + XX - S}{N - S} \quad (-1 \leq \text{Skill} \leq 1) \quad (\text{B.3.11})$$

で定義される。ただし、

$$S = Pm_c(FO + FX) + Px_c(XO + XX),$$

$$Pm_c = \frac{M}{N}, \quad Px_c = \frac{X}{N} \quad (\text{B.3.12})$$

である。ここで、 Pm_c は「現象あり」、 Px_c は「現象なし」の気候学的出現率 (付録 B.3.8) S は「現象あり」を $FO + FX$ 回 (すなわち、「現象なし」を残りの $XO + XX$ 回) ランダムに予測した場合 (ランダム予測) の適中事例数である。本スコアは、最大値の 1 に近いほど予測の精度が高いことを示す。また、ランダム予測で 0 となり、 $FO = XX = 0, FX = XO = N/2$ の場合に最小値 -1 をとる。

B.4 確率予測に関する指標など

B.4.1 ブライアスコア

ブライアスコア (BS: Brier Score) は、確率予測の統計検証の基本的指標である。ある現象の出現確率を対象とする予測について、次式で定義される。

$$BS \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - a_i)^2 \quad (0 \leq BS \leq 1) \quad (\text{B.4.1})$$

ここで、 p_i は確率予測値 (0 から 1) a_i は実況値 (現象ありで 1、なしで 0) N は標本数である。BS は完全に適中する決定論的な ($p_i = 0$ または 1 の) 予測 (完全予測と呼ばれる) で最小値の 0 をとり、0 に近いほど予測の精度が高いことを示す。また、現象の気候学

的出現率 P_c (付録 B.3.8) を常に確率予測値とする予測 (気候値予測と呼ばれる) のブライアスコア BS_c は

$$BS_c \equiv P_c (1 - P_c) \quad (B.4.2)$$

となる。ブライアスコアは、現象の気候学的出現率の影響を受けるため、異なる標本や出現率の異なる現象に対する予測の精度を比較するには適さない。例えば上の BS_c は P_c 依存性を持ち、同じ予測手法 (ここでは気候値予測) に対しても P_c の値に応じて異なる値をとる (Stanski et al. 1989)。この問題を緩和するため、次項のブライアスキルスコアが考案されている。

B.4.2 ブライアスキルスコア

ブライアスキルスコア (BSS: Brier Skill Score) は、ブライアスコアに基づくスキルスコアであり、通常気候値予測を基準とした予測の改善の度合いを示す。本スコアは、ブライアスコア BS 、気候値予測によるブライアスコア BS_c を用いて

$$BSS \equiv \frac{BS_c - BS}{BS_c} \quad (BSS \leq 1) \quad (B.4.3)$$

で定義され、完全予測で 1、気候値予測で 0、気候値予測より誤差が大きいと負となる。

B.4.3 Murphy の分解

Murphy (1973) は、ブライアスコアと予測の特性との関連を理解しやすくするため、ブライアスコアを信頼度 (Reliability)、分離度 (Resolution)、不確実性 (Uncertainty) の 3 つの項に分解した。これを Murphy の分解と呼ぶ (高野 2002 などに詳しい)。

確率予測において、確率予測値を L 個の区間に分け、標本を確率予測値の属する区間に応じて分類することを考える。確率予測値が l 番目の区間に属する標本数を N_l ($N = \sum_{l=1}^L N_l$)、このうち実況が「現象あり」であった事例数を M_l ($M = \sum_{l=1}^L M_l$)、確率予測値の l 番目の区間の区間代表値を p_l とすると、Murphy の分解によりブライアスコアは以下のように表される。

$$BS = \text{信頼度} - \text{分離度} + \text{不確実性} \quad (B.4.4)$$

$$\text{信頼度} = \sum_{l=1}^L \left(p_l - \frac{M_l}{N_l} \right)^2 \frac{N_l}{N} \quad (B.4.5)$$

$$\text{分離度} = \sum_{l=1}^L \left(\frac{M}{N} - \frac{M_l}{N_l} \right)^2 \frac{N_l}{N} \quad (B.4.6)$$

$$\text{不確実性} = \frac{M}{N} \left(1 - \frac{M}{N} \right) \quad (B.4.7)$$

信頼度は、確率予測値 (p_l) と実況での現象の出現相対頻度 (M_l/N_l) が一致すれば最小値の 0 となる。分離度は、確率予測値に対応する実況での現象の出現相対頻度 (M_l/N_l) が気候学的出現率 ($P_c = M/N$) から離れているほど大きい値をとる。不確実性は、現象の気候学的出現率のみによって決まり、予測の手法にはよら

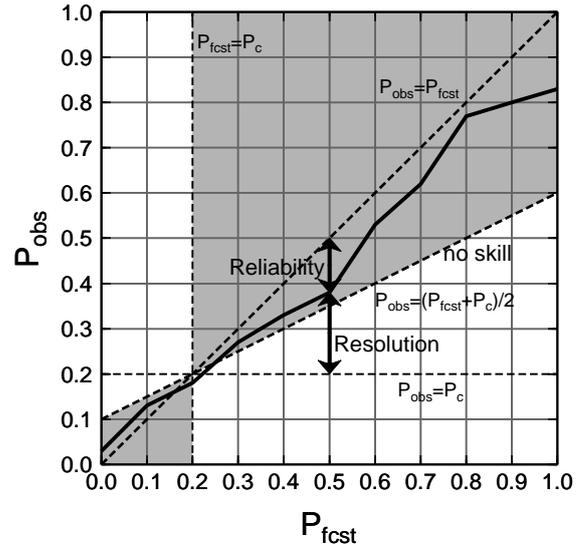


図 B.4.1 確率値別出現率図の模式図。横軸は予測現象出現確率、縦軸は実況現象出現相対頻度である。実線が信頼度曲線である。対角線、直線 $P_{obs} = P_c$ との差の二乗がそれぞれ信頼度 (Reliability)、分離度 (Resolution) への寄与に対応している。灰色の領域内の点はブライアスキルスコアに正の寄与を持つ。

ない。例えば、 $P_c = 0.5$ の場合に不確実性は最大値の 0.25 をとる。また、不確実性 = BS_c が成り立つ。これらを用いて、ブライアスキルスコアを次のように書くことができる。

$$BSS = \frac{\text{分離度} - \text{信頼度}}{\text{不確実性}} \quad (B.4.8)$$

B.4.4 確率値別出現率図

確率値別出現率図 (Reliability Diagram, Attributes Diagram と呼ばれる) は、予測された現象出現確率 P_{fcst} を横軸に、実況で現象が出現した相対頻度 P_{obs} を縦軸にとり、確率予測の特性を示した図である (図 B.4.1 参照、Wilks 2011 などに詳しい)。一般に、確率予測の特性は確率値別出現率図上で曲線として表される。この曲線を信頼度曲線 (Reliability curve) と呼ぶ。

信頼度曲線の特性は、Murphy の分解 (付録 B.4.3) の信頼度、分離度と関連付けることができる。横軸 P_{fcst} の各値について、信頼度 (あるいは分離度) への寄与は、信頼度曲線上の点から対角線 $P_{obs} = P_{fcst}$ 上の点 (あるいは直線 $P_{fcst} = P_c$ 上の点) までの距離の二乗として表現される。 P_{fcst} の各値でのこれらの寄与を、標本数に比例する重みで平均して信頼度 (あるいは分離度) が得られる。例えば、no-skill line (直線 $P_{obs} = (P_{fcst} + P_c)/2$) 上の点では、信頼度と分離度への寄与は等しい大きさを持ち、ブライアスキルスコアへの寄与が 0 となる。また no-skill line と直線 $P_{fcst} = P_c$ との間の領域 (分離度への寄与 > 信頼度への寄与、図 B.4.1 灰色の領域) 内に位置する点は、ブライアスキル

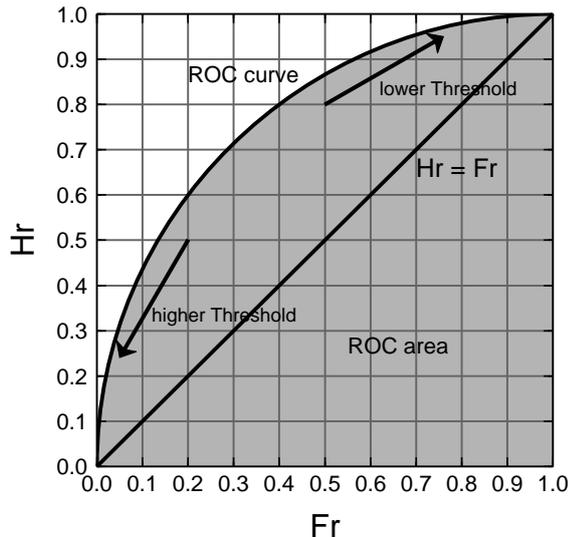


図 B.4.2 ROC 曲線の模式図。横軸は誤検出率 F_r 、縦軸は捕捉率 H_r である。灰色の領域の面積が ROC 面積である。

スコアに正の寄与を持つ。

特別な場合として、気候値予測では 1 点 $(P_{fcst}, P_{obs}) = (P_c, P_c)$ が信頼度曲線に対応する。また、次の 2 つの特性を示す確率予測は精度が高い。

- 信頼度曲線が対角線に (信頼度への寄与が最小値の 0 に) 近い。
- 信頼度曲線上の大きい標本数に対応する点が点 $(P_{fcst}, P_{obs}) = (P_c, P_c)$ (気候値予測) から離れた位置 (確率値別出現率図の左下または右上寄り) に分布する (分離度が大きい)。

B.4.5 ROC 曲線、ROC 面積、ROC 面積スキルスコア

確率予測では、現象の予測出現確率にある閾値を設定し、これを予測の「現象あり」「現象なし」を判定する基準とすることが可能である。様々な閾値について作成した分割表を基に、閾値が変化したときの F_r - H_r 平面 (ここで、 F_r は誤検出率 (付録 B.3.6)、 H_r は捕捉率 (付録 B.3.5)) 上の軌跡をプロットしたものが ROC 曲線 (ROC curve: Relative Operating Characteristic curve、相対作用特性曲線) である (図 B.4.2 参照、高野 2002 などに詳しい)。平面内の左上方の領域では $H_r > F_r$ であり、平面の左上側に膨らんだ ROC 曲線特性を持つ確率予測ほど精度が高いものと見なせる。したがって、ROC 曲線から下の領域 (図 B.4.2 灰色の領域) の面積 (ROCA: ROC Area、ROC 面積) は、情報価値の高い確率予測ほど大きくなる。ROC 面積スキルスコア (ROCASS: ROC Area Skill Score) は、情報価値のない予測 ($H_r = F_r$) を基準として ROC 面積を

評価するものであり、

$$\text{ROCASS} \equiv 2(\text{ROCA} - 0.5) \quad (-1 \leq \text{ROCASS} \leq 1) \quad (\text{B.4.9})$$

で定義される。本スコアは、完全予測で最大値の 1 をとる。また、情報価値のない予測 (例えば、区間 $[0, 1]$ から一様ランダムに抽出した値を確率予測値とする予測など) では 0 となる。

B.4.6 CRPS

CRPS (Continuous Ranked Probability Score) は、確率予測の統計検証の指標の 1 つである。連続物理量 x に対する CRPS は次式で定義される。

$$\text{CRPS} \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} (P_i(x) - A_i(x))^2 dx \quad (\text{CRPS} \geq 0) \quad (\text{B.4.10})$$

ここで、 N は標本数、 P_i と A_i はそれぞれ予測と実況の累積分布関数であり、次式で定義される。

$$P_i(x) = \int_{-\infty}^x \rho_i(x') dx' \quad (\text{B.4.11})$$

$$A_i(x) = U(x - a_i) \equiv \begin{cases} 0 & x < a_i \\ 1 & x \geq a_i \end{cases} \quad (\text{B.4.12})$$

ここで、 ρ_i は予測された確率密度関数、 a_i は実況値、 $U(x)$ は階段関数である。CRPS は完全に適中する決定論的な予測で最小値 0 をとり、0 に近いほど予測の精度が高いことを示す。単位は物理量 x と同じである。また、物理量 x が閾値 t 以下となる現象の確率予測に対するブライアスコアを $\text{BS}(t)$ とおくと、

$$\text{CRPS} = \int_{-\infty}^{\infty} \text{BS}(t) dt \quad (\text{B.4.13})$$

の関係がある。

参考文献

- 北川裕人, 2005: 全球・領域・台風モデル. 平成 17 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 38-43.
- Murphy, A. H., 1973: A new vector partition of the probability score. *J. Appl. Meteor.*, **12**, 595-600.
- Schaefer, J. T., 1990: The critical success index as an indicator of warning skill. *Wea. Forecasting*, **5**, 570-575.
- Stanski, H. R., L. J. Wilson, and W. R. Burrows, 1989: Survey of common verification methods in meteorology. *World Weather Watch Tech. Rept. No.8*, WMO/TD No.358, WMO, Geneva, 144 p.
- 高野清治, 2002: アンサンブル予報の利用技術. 気象研究ノート, **201**, 73-103.

- 梅津浩典, 室井ちあし, 原旅人, 2013: 検証指標. 数値予報課報告・別冊第 59 号, 気象庁予報部, 6–15.
- Wilks, D. S., 2011: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, International Geophysical, Vol. 100. Academic Press, 334–340.
- WMO, (Ed.) , 2010: *Manual on the Global Data-Processing and Forecasting System Volume I - Global Aspects (2010 Edition - Updated in 2015)*. WMO-No. 485, World Meteorological Organization, 197 p.