

付録 1: SHIFOR

Statistical Hurricane Intensity Forecast (SHIFOR、Jarvinen and Neumann 1979) は、統計手法に基づく台風強度ガイダンスで、数値予報モデルや高度な台風強度ガイダンスのベンチマークとして、またコンセンサス予測の一メンバーとして利用される (第 6 章)。第 2 章、第 3 章で述べた SHIPS や LGEM が「統計力学ガイダンス」と呼ばれるのに対して、SHIFOR は「統計ガイダンス」と呼ばれる。SHIPS や LGEM は力学手法である数値予報の結果を利用するのに対して、SHIFOR の説明変数は台風の位置や強度の解析値などで、将来の情報である数値予報の結果は用いていないためである。

基本的な設計は線形モデルの重回帰分析で、SHIPS と同一である。SHIFOR は、最大風速を目的変数として開発されたが、気象庁では説明変数の風速項を気圧項に変えることで目的変数を中心気圧としている。説明変数の候補は表 A1.1 に示す 7 つの基本的な変数とこれらを自乗、または相互に乗じた合計 35 個の変数である。JDAY で引かれている数値 248 は Neumann(1993) による北西太平洋での統計的な活動のピーク日である。

重回帰係数作成のためのトレーニングデータには気象庁ベストトラックを使用する。気象庁ベストトラックは 1951 年以降のデータが存在するが、最大風速等が記載されるようになった 1977 年以降のデータを使用する。2011 年、2012 年で独立した検証を行うため、1977 年から 2010 年をトレーニングサンプルとする。

トレーニングサンプルは以下の条件を満たすものを使用する。

1. 解析時刻に TS の勢力以上で、北緯 45 度以南にある。
2. 解析時刻の 12 時間前が TS 以上の勢力である。
3. 中心位置は沿岸から 50km 以上離れている。
4. 解析時刻の 6 時間前と 12 時間前に上陸していない (2. の条件を満たしている)。

海陸判別は簡易的に気象庁全球モデルの海陸分布を 0.5 度単位に変換したものを利用する。これらの条件を満たした入力値の分布を図 A1.1 に示す。入力値の数は 14173 点となる。

重回帰係数の導出に関しては、説明変数の候補が多く、総当たりによる最適な説明変数の選択は計算量の問題から困難なため、ステップワイズ変数選択を行った。35 個の説明変数は 7 個の基本的な変数を乗じて作っているため、相関が高く多重共線性が生じる変数が複数ある。多重共線性の除去は次のように行った。まず全ての説明変数でステップワイズ選択を行い、仮の重回帰係数を求める。そこで選択された変数から Variance Inflation Factor (VIF) が大きく多重共線性が疑われる変数を除去する。残った変数で再度変数選択を行い、選択された変数すべてで VIF が十分小さくなるまで繰り返す。計算は統

表 A1.1 基本的な説明変数。

JDAY	年初からの通算日-248
LAT	中心位置の緯度(deg)
LON	中心位置の経度(deg)
PC	中心気圧(hPa)
DPC	12 時間前との気圧差。PC(0h)-PC(+12h)
U	東向き移動速度(km/h)
V	北向き移動速度(km/h)

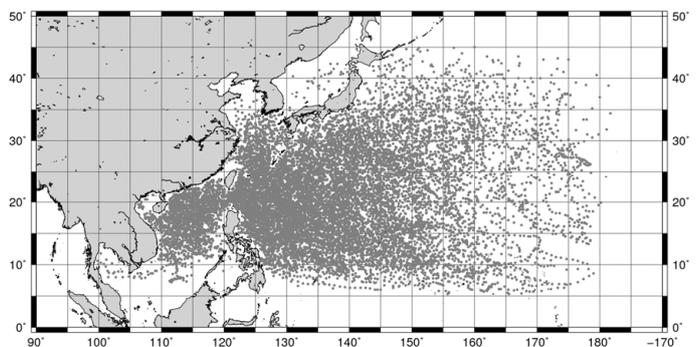


図 A1.1 重回帰係数作成のためのトレーニングデータとして使用する気象庁ベストトラック (1977-2010) の分布。

計言語 R を用いた¹。最終的に選択された説明変数とその偏回帰係数を表 A1.2 に、標準化偏回帰係数を表 A1.3 に示す。表 A1.2 を見ると定数項 (CONST) は時間とともに増加し、96 時間や 120 時間では他の説明変数による調整の幅は小さくなる。標準化偏回帰係数は、各説明変数の目的変数に対する変動の寄与を示す。予報前半では PC や DPC (表 A1.1) を含む項の寄与が大きいが、予報が進むにつれて JDAY、LAT、LON を含む項の寄与が大きくなり、予報後半は気候値的な様相を呈する。また、予報前半は PC を含む項が大きな寄与を示しているが、予報後半になると突出した寄与を持つ項はない。重回

表 A1.2 最終的に選択した説明変数とその偏回帰係数。CONST は定数項。

変数/予報時間	12	24	48	72	96	120
LAT	0	0	0	0	0	1.919348
LON	0	0	-0.24345	-0.38453	-0.41037	0
PC	0	0	0	0.159792	0	0
DPC	0.548418	0	0	0	0	0
JDAY*JDAY	0.000195	0.000436	0.000785	0.000963	0.000914	0.000868
JDAY*LAT	0	0.001477	0.002617	0.003939	0.003989	0.004033
JDAY*LON	8.66E-05	0	0	0	0	0
JDAY*DPC	0.00022	0	0	0.001491	0	0
JDAY*U	0	0	0	0	0	0.000956
LAT*LAT	0.007633	0	0.041429	0.056518	0.057876	0
LAT*PC	0	0.000809	0	0	0	0
LAT*DPC	0	0	0	0.018796	0	0
LON*PC	-4.94E-05	-7.98E-05	0	0	0	-0.00039
LON*DPC	0	0.005711	0.005466	0	0.002017	0.00201
PC*PC	0.000472	0.000389	0.000212	0	1.31E-05	0
DPC*DPC	0	0	0.007019	0	0	0
CONST	527.5118	595.7253	780.5963	839.0114	987.8261	985.2787

表 A1.3 表 2 と同じ。ただし値は標準化偏回帰係数で定数項はない。

変数/予報時間	12	24	48	72	96	120
LAT	0	0	0	0	0	0.454659
LON	0	0	-0.13825	-0.21523	-0.23489	0
PC	0	0	0	0.164252	0	0
DPC	0.203477	0	0	0	0	0
JDAY*JDAY	0.074835	0.16532	0.28939	0.34943	0.337449	0.334778
JDAY*LAT	0	0.06687	0.106787	0.149501	0.145518	0.145308
JDAY*LON	0.035922	0	0	0	0	0
JDAY*DPC	0.005649	0	0	0.038308	0	0
JDAY*U	0	0	0	0	0	0.038786
LAT*LAT	0.097551	0	0.410551	0.509384	0.49675	0
LAT*PC	0	0.218475	0	0	0	0
LAT*DPC	0	0	0	0.120928	0	0
LON*PC	-0.03124	-0.04846	0	0	0	-0.23501
LON*DPC	0	0.287846	0.269533	0	0.103987	0.107354
PC*PC	0.902376	0.740319	0.404549	0	0.02643	0
DPC*DPC	0	0	0.051	0	0	0

1 以下のサイトから重回帰分析 (ステップワイズ変数選択) を入手した。

<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/sreg.html>

帰分析での重回帰係数 R、決定係数 R²、自由度調整済み決定係数 R²*、事例数 N を表 A1.4 に示す。これらの係数は予報時間が進むにつれて減少している。

独立資料として検証を行った 2011-2012 年の結果を図 A1.2 に示す。気象庁全球モデル (GSM) による強度予測は 36 時間予報までは初期時刻における誤差の補正を行っているため、バイアスは 24 時間までとそれ以降で傾向が異なる。発表予報は常に負のバイアス (強めに予報) で、予報時間とともにバイアスが増加する。RMSE で見ると発表予報は SHIFOR よりやや良いか同程度の結果となっている。統計ガイダンスの 4 日目、5 日目の RMSE の増加は 3 日予報までの誤差の大きさとなつてつながりが良い。

参考文献

Jarvinen, B. R., and C. J. Neumann, 1979: Statistical forecasts of tropical cyclone intensity. NOAA Tech. Memo. NWS NHC-10, 22 pp.[Available online from National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield, VA 22151]

Neumann, C. J., 1993: Global Overview. *Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting*. [Available online at http://cawcr.gov.au/bmrc/pubs/tcguide/globa_guide_intro.htm]

表 A1.4 重回帰分析での重回帰係数等。重回帰係数 R、決定係数 R²、自由度調整済み決定係数 R²* と事例数 N。

	12	24	48	72	96	120
R	0.95732	0.86015	0.63958	0.53172	0.51212	0.49565
R ²	0.91646	0.73986	0.40906	0.28273	0.26227	0.24567
R ² *	0.91642	0.73971	0.40854	0.2819	0.26128	0.24427
N	12141	10452	8018	6075	4493	3235

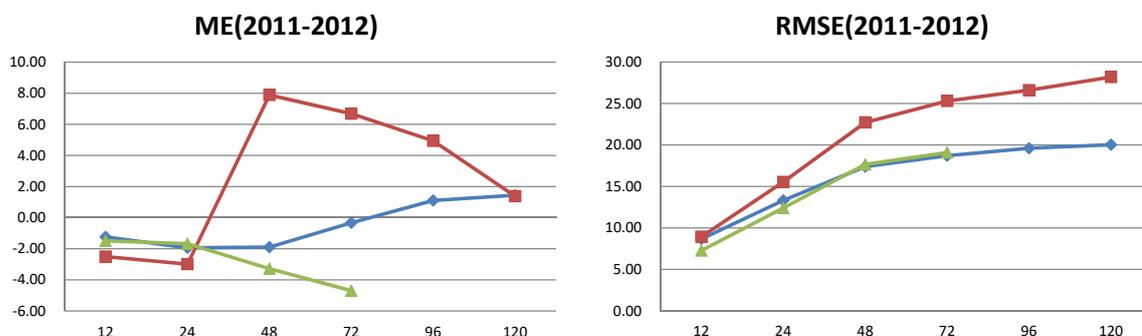


図 A1.2 2011 ~ 2012 年の中心気圧の予報の平均誤差 (左) と RMSE (右)。共通サンプルによる検証。横軸は予報時間 (時間)、縦軸は誤差 (hPa)。青は SHIFOR、赤は GSM、緑は発表予報。事例数は 12 時間予報から順に 554、860、685、520、99、71。

付録 2: 検証指標

本報告では、以下の分割表と Wilks (2006) に基づき、精度検証で使用する各種指標の定義を定める。

表 分割表

	観測: Yes	観測: No
予測: Yes	a	b
予測: No	c	d

スレット・スコア (TS) ; $\frac{a}{a+b+c}$

バイアス ; $\frac{a+b}{a+c}$

捕捉率 (Hit rate, POD (Probability of detection)) ; $\frac{a}{a+c}$

空振り率 (FAR (False alarm ratio)) ; $\frac{b}{a+b}$

誤検出率 (F (False alarm rate), POFD (Probability of false detection)) ; $\frac{b}{b+d}$

RI インデックスのような確率予測の精度評価には、ブライア・スキル・スコアが使われる。

ブライア・スキル・スコア (BSS) ; $BSS = \left[1 - \frac{BSM}{BSC} \right] \times 100$

BSM ; RI インデックス予測 (確率予測) のブライア・スコア

BSC ; RI の気候学的確率予測のブライア・スコア

ブライア・スコア (BS) の定義は以下の通り。

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - a_i)^2$$

N は事例数、 p_i は確率予測値 (0 から 1 までの値)、 a_i は実況値 (現象があれば 1、なければ 0 とする)。

参考文献

Wilks, D. S., 2006: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2d ed. International Geophysics Series, Vol. 91, Academic Press, 627 pp.