

地球温暖化シナリオに伴う北西太平洋での波高極値の変化

Change of Return Wave Height in the Northwestern Pacific Ocean Associated with Global Warming Scenario

野中浩一¹・山口正隆²・畑田佳男³

Hirokazu NONAKA, Masataka YAMAGUCHI and Yoshio HATADA

Using 4 scenarios for the change of track or central pressure of typhoons associated with global warming, Monte-Carlo simulations are made of 1,000 years of typhoons, including the typhoon-induced pressure (TIP) and typhoon-generated wave heights (TGWH), over the Northwestern Pacific Ocean. Then, 100-year return values and their confidence intervals of the TIP and the TGWH are estimated with an extreme value analysis. The conclusion is that the predicted probable change of 5 hPa and 0.5 m of the return values in most sea areas around Japan are not significant in general but that changes exceeding 10 hPa and 1 m may be expected in some areas such as offshore of Southern Japan.

1. 緒言

近年, 地球温暖化に伴う台風勢力の強大化や台風発生位置の変化とこれらに関連する自然災害の増大が懸念されている。橋本ら(2005)は気象庁のRCM20による日平均データの予測計算結果(地球温暖化シナリオ)の解析に基づいて, 「100年後の台風属性値の時間変化量が, 空間的に北へ緯度で 1.5° あるいは東へ経度で 1.5° 移動する」という仮説を提案した。

本研究では上記の仮説を参照して, シミュレーションにより生成した台風(標準ケース)の中心位置と比べて各時刻ごとに台風の中心位置が, ケース①: 北へ160 km移動, ケース②: 東へ160 km移動, ケース③: 北へ160 kmかつ東へ160 km移動, というシナリオと, ケース④: 台風の中心位置が変化せず, 発生時点の台風の中心気圧が10 hPa低下というシナリオの4ケースを想定する。そして1,000年間を対象として, 標準と上記の合計5ケースの台風について, 北西太平洋領域における気圧の計算, 北西太平洋領域と地形解像度を上げた日本海領域や浅海域を考慮した東シナ海領域における波浪の計算を実施し, これらから得た台風時の格子点別年最大気圧降下量と格子点別年最大波高資料に対する極値統計解析に基づいて, 確率気圧や確率波高の空間分布とその変化を考察する。

2. 確率気圧および確率波高の推定法

(1) シミュレーション台風資料

台風の発生には, 台風内気圧を楕円型分布で近似し, 2軸方向の台風中心位置, 中心気圧, 楕円長軸傾斜角,

平均台風半径, 長・短軸台風半径比からなる6つの変量を台風属性として, 図-1に示す領域内で定式化を行った拡張型季節別確率的台風モデル(野中ら, 2000)を用いる。シミュレーション期間は1,000年, 計算対象台風は北西太平洋領域で7,797ケース, 日本海領域と東シナ海領域では, 台風の経路や勢力を考慮して取捨選択した, それぞれ5,228ケースおよび4,963ケースである。

(2) 海上風計算

海上風は, 野中ら(2000)に従って傾度風と台風の移動に伴う場の風をベクトル合成したのち, 変換係数0.6を乗じて求める。計算時間間隔は北西太平洋領域で1時間, 日本海領域および東シナ海領域で30分であり, 6時間間隔の台風属性資料を線形補間して入力データとする。

(3) 波浪推算

波浪推算には, 北西太平洋領域(格子間隔80 km, 図-1より南側に2格子分広い領域)と日本海領域(格子間隔40 km)では格子点深海モデル(山口ら, 1984)を, また浅海域が広範に広がる東シナ海領域(格子間隔40 km)では,

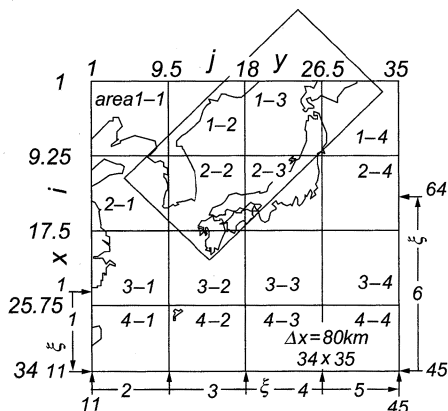


図-1 確率的台風モデルの作成領域と日本海の波浪推算領域

1 正 会 員 博(工)愛媛大学工学部契約職員
2 正 会 員 工博 愛媛大学大学院理工学研究科教授
3 正 会 員 博(工)愛媛大学大学院理工学研究科講師

段波モデル付き格子点浅海モデル(山口ら, 1984)を用いる。外洋開境界の流入方向にはパラメトリックな表示式に基づく方向スペクトルを与える。日本海領域の波浪推算では、沿岸地形の近似度を向上させるために、座標軸を反時計方向に 45° 回転させた格子網(図-1)を使用し、格子間隔5 kmの高地形解像度格子網での1点浅海モデル(山口ら, 1987)による方向スペクトルを朝鮮海峡・対馬海峡に相当する5つの格子点(後出の図-7と図-8の中の●印)に流入境界条件として与える。周波数は $0.036 \sim 0.5H$ z を不等分割した20個、方向は $0 \sim 360^\circ$ を 20° で等分割した19個、計算時間間隔は北西太平洋領域で1時間、日本海領域と東シナ海領域で30分とする。

(4) 極値統計解析

各格子点における台風時の年最大気圧降下量と年最大波高資料に対する極値統計解析には、候補分布をGumbel分布と形状母数 $k=0.5 \sim 10$ の27種類の3母数Weibull分布の計28種類とし、母数推定を最小2乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、分散の推定をjackknife法によるYamaguchi・Hatada(1997)のモデルを用いる。当該領域における100年確率気圧と100年確率波高の標準偏差は大部分の海域でそれぞれ2 hPaおよび0.2 mより小さいことから、これらは以下で検討する100年確率気圧や100年確率波高の差に比べて有意でない。

3. 北西太平洋における確率気圧の変化

図-2は標準ケース(normal case)における100年確率気圧 p_{100} の空間分布を示す。確率気圧は東シナ海と920 hPaの等値線の太平洋東側部分を除いて、東西方向にあまり変化しない。920 hPaの等値線は南方海域の中央部に位置し、940 hPaの等値線が台湾から九州中部へNE方向に、九州中部から太平洋へE方向に延びている。この挙動は960 hPaと980 hPaの等値線についても同様である。

図-3はケース①～④の100年確率気圧の空間分布を示す。台風の発生位置がN方向に移動するケース①では、等値線がそのままN方向に遷移することから、たとえば940 hPaの等値線が九州全体や四国南西部に達する。つまり、確率気圧は南東海域を除いてほぼ全領域で低くな

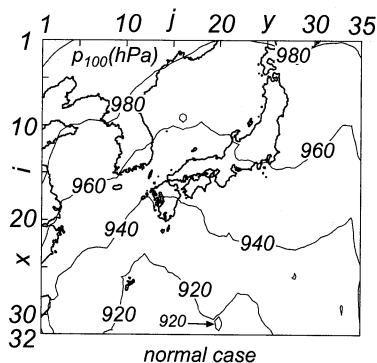


図-2 北西太平洋領域における100年確率気圧

る。台風の発生位置がE方向に移動するケース②では、確率気圧は日本列島で東西方向にあまり変化しないが、NE-SW方向に等値線をもつ東シナ海では、沖縄において確率気圧がやや大きくなる。太平洋の東側海域でも同様に確率気圧は高くなる。台風の発生位置がNE方向に移動するケース③では、ケース①とケース②の挙動が重なるので、日本列島全体でそれぞれの地域に応じて確率気圧が低下する一方、沖縄では確率気圧が増大する。以上のケースにおける確率気圧の変化は大きくてもほぼ ± 10 hPa以内、広範な領域で ± 5 hPa以内である。

台風発生位置の中心気圧を10 hPa強制的に下げるケース④では、確率気圧920 hPaの領域が拡大するが、940 hPaの領域はそれほど広がらず、960 hPaの領域はあまり変わらない。すなわち、境界での中心気圧の低下の影響は台風の北方への進行とともに急速に弱くなり、日本周辺では標準ケースとの気圧差は小さい。

4. 北西太平洋における確率波高の変化

図-4は標準ケースにおける100年確率波高 H_{100} の空間分布を示す。確率波高は、南方海域で17~18 m、日本の沖合海域で16 m、日本の太平洋岸で西側の16 mから関東沖合の14 mを経て北海道東岸の8 mに、東シナ海では南側海域の14 mからNW方向に12 mを経て山東半島沖合で8 mになる。日本海では、対馬・朝鮮海峡からNE方向

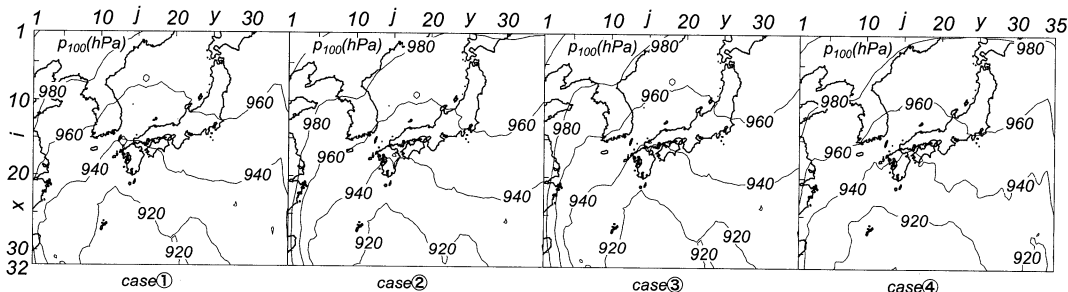


図-3 台風特性の変化に伴う100年確率気圧(北西太平洋領域)

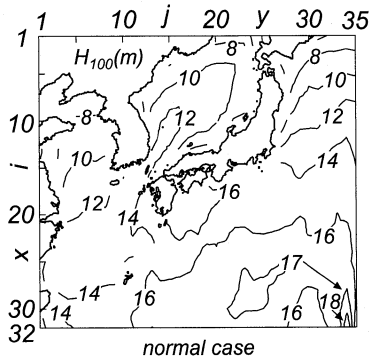


図-4 北西太平洋領域における100年確率波高

に12 m域, ついで10 m域が延び, 北海道の西方海域に達する. 計算における地形解像度が低いと, 対馬・朝鮮海峡から過剰なエネルギーが流入する結果, 日本海西南部海域の確率波高は過大評価されている.

図-5はケース①～④の100年確率波高の空間分布, 図-6はケース①～④の各ケースと標準ケースの100年確率波高の差 ΔH_{100} の空間分布を示す. ケース①では高波高域もN方向に移動することから, 確率波高は標準ケースに比べて全般的に0～1 m大きくなり, 日本海の中央部より大陸側の海域や北海道の東側海域でその増加量は1 m

を越える. しかし, 太平洋側のうち東海地方から九州の沿岸と沖合では標準ケースにおける16 m以下の波高域が北上することから, 確率波高は0～1 m低下する. なお, 南方境界付近の海域における確率波高の変化は境界条件の設定方法に依存するので, 検討対象としない. ケース②では高波高域がE方向に移動することから, 東シナ海を中心に日本海や太平洋岸の西南部で確率波高が減少する反面, 太平洋岸の東部や北部で増加する. その増減の程度は, 1 m以上の減少を示す九州西岸沖合から日本海の韓国沖合海域を除いて, 1 m以下である. ケース③では, 各等波高域がNE方向に移ることから, ケース①とケース②の影響が混在し, たとえば, 日本海では12 m波高域が孤立して出現する特徴がみられる. 確率波高は西日本の周辺海域で減少する反面, 東日本の周辺海域で増大する. 3ケースに共通する特徴として, 台風経路の移動によって西日本では太平洋側で確率波高が減少する一方, 東日本の太平洋岸では増大することが指摘される. その変化の幅は1 m以下である.

ケース④では, 太平洋で16 m波高域がN方向に, 東シナ海で14 m波高域がNW方向に拡大することからわかるように, 領域全体で確率波高が増大する. しかし, 標準ケースとの確率波高の差を与えた図-6の第4図によると, 太平洋岸西南部や伊勢湾周辺海域, 北海道の日本海側と

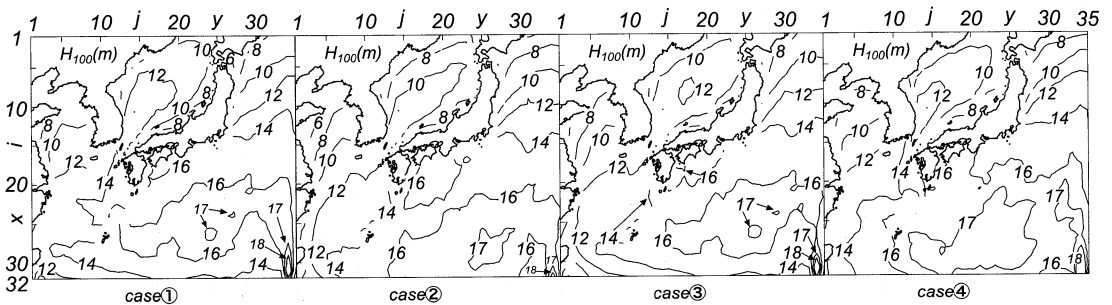


図-5 台風特性の変化に伴う100年確率波高(北西太平洋領域)

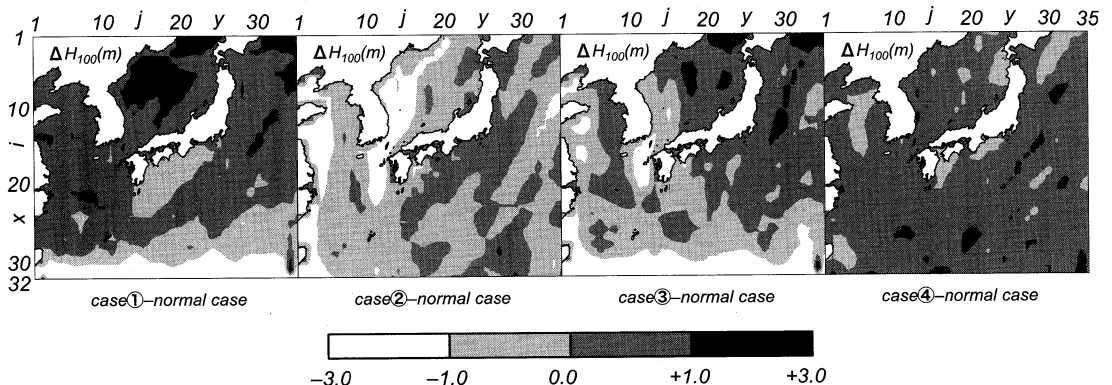


図-6 台風特性の変化に伴う100年確率波高の差(北西太平洋領域)

太平洋側, 黄海中央部において確率波高は小さくなる. その増減の程度は大部分の海域で1 m以下であり, 日本周辺の海域では0.5 m以下の海域が多くを占める.

5. 日本海における確率波高の変化

図-7は標準ケースにおける100年確率波高の空間分布を示す. 確率波高は朝鮮半島の東側海域で領域全体の最大域である11 m波高域を与え, そこから楕円状に沿岸部の5~6 mに向けて小さくなる.

図-8はケース①~④の各ケースと標準ケースの100年確率波高の差の空間分布を与える. 図は省略するが, 標準ケースと比べて11 mの波高域がNE方向に拡大したり(ケース①, ケース③), 消失したり(ケース②)あるいはNE方向に移動する(ケース④). しかし, 日本海の中央部を中心に楕円状に10 m域が広範に拡がり, そこから沿岸部の5~6 mに向けて減少するという挙動は共通する. 標準ケースとの差をみると, ケース①では確率波高は広範な海域で0.5~1 mあるいは1.5 m大きくなるが, 日本沿岸での増加は津軽海峡沖合を除く海域で0.5 m以下にとどまる. ケース②では, 確率波高は日本海の西側から大陸側に向けて最大1.5 m小さくなる一方, 日本側北部沿岸では0.5 m大きくなる. 日本沿岸を西から北側に向けてみると, 確率波高の変化は山陰沿岸での0.5 m減少の状態から次第に小さくなって東北地方北側に至るまでほとんど0に近い値をとり, 北海道西部で0.5 mの増大に至るという挙動を示す. 全体として日本沿岸に沿った変化は有意でない. ケース③では, 確率波高は朝鮮半島の沖合で0.5 m以上減少する反面, 日本海中央部で0.5 m, 日本海の北東部で1 m以上増大する. 日本沿岸では確率波高は西南部でほとんど変化せず, 北陸地方や東北地方に至っても, その増大は0.5 m以下にとどまるが, 東北北部から北海道西部の沖合では1 m近くなる.

ケース④では, 確率波高は大陸側沖合の小海域における0.5 m程度の減少を除いて, おおむね増大する. その度合は北海道西部沖合で1 mに達するが, 日本沿岸では0.5 m以下と小さい. 北海道西部沖合は台風に伴う波浪が発達しやすい海域にあたるので, 台風経路や台風勢力の変化に伴う波高, すなわち確率波高の変化が出現しや

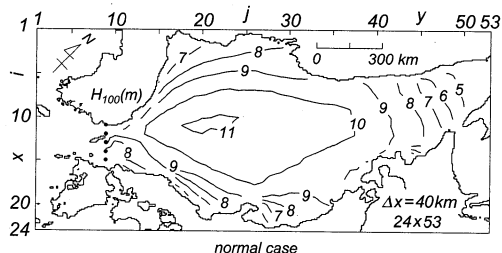


図-7 日本海領域における100年確率波高

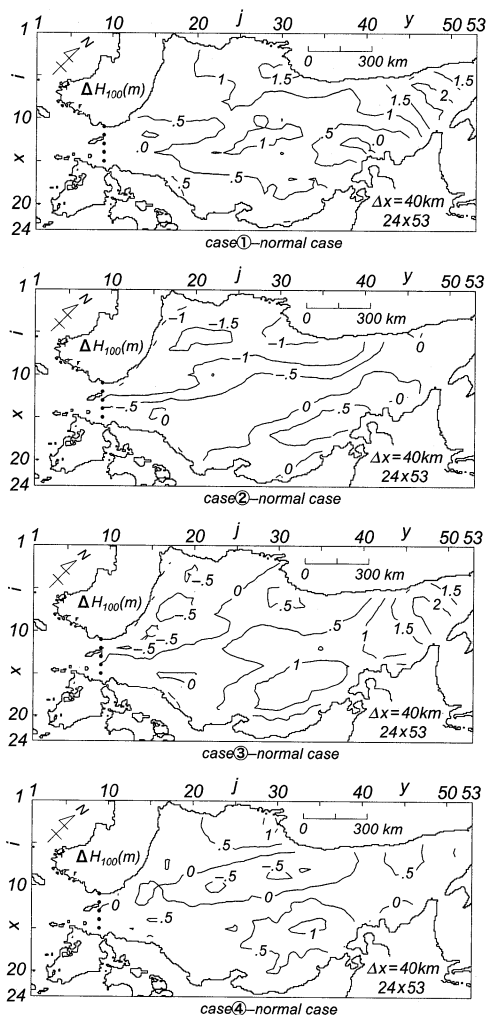


図-8 台風特性の変化に伴う100年確率波高の差(日本海領域)すい.

6. 東シナ海における確率波高の変化

図-9は標準ケースにおける100年確率波高の空間分布を示す. 太平洋側では16 m波高域が拡がり, 一部南東側に17 m域もある. 東シナ海では, 沖縄近海から九州西岸に14 m域があるが, 西表島付近から九州北部にかけて13 mの等値線が, 台湾から対馬にかけて12 mの等値線が, 中国上海付近から済州島にかけて10 mの等値線が伸びており, NW方向に向けて波高が小さくなる. 山東半島付近の黄海奥部では8 mをとる.

図-10はケース①~④の各ケースと標準ケースの100年確率波高の差の空間分布を表す. ケース①では, それぞれの等値線が標準ケースの場合よりも北上することから, 境界の影響が現れる南側海域を除いて, 海域全体でおおむね確率波高が大きくなる. その度合は東シナ海で約

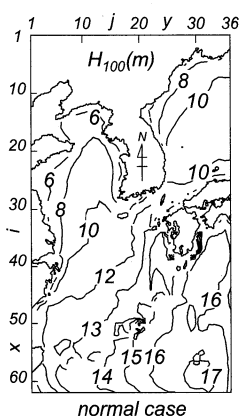


図-9 東シナ海領域における100年確率波高

0.5 m, 日本海で約1 mである。しかし、九州西側海域や四国沖の太平洋側では確率波高は0.5 m程度小さくなる。ケース②では、等値線もE方向に移動し、太平洋、東シナ海、日本海のいずれでも全体として波高は小さくなる。その規模は九州西岸や韓国東岸で2 mに達するが、1 m以下の海域が多くを占める。ケース③では、境界の影響が現れる南側海域を除けば、確率波高の増減の領域が相半ばし、確率波高は東シナ海中央部や四国沖合海域、日本海中央部で0.5 m程度大きくなる反面、それ以外の海域では1 m程度まで小さくなる。

ケース④では、確率波高は東シナ海中央部から黄海や朝鮮半島東岸、四国の沖合海域および沖縄周辺海域で0.5 m小さくなり、その他の広範な海域では0.5~1 m大きくなる。とくに日本周辺海域のうち、九州南西岸海域における確率波高の増大は1 mを越え、四国沖合海域における減少は1 mに近い値を示す。

7. 結 語

本研究で得られた結果はつぎのように要約される。

①台風経路の移動は、日本周辺でみれば確率気圧の低下(確率気圧降下量の増大)をもたらす。台風発生位置での中心気圧の低下の影響は高緯度地域ほど減少する。

②日本沿岸でみれば、台風経路の移動に伴い、確率波高は四国の西半分から九州東岸の太平洋側で減少し、東日本・北日本で増大する。

③台風発生位置での中心気圧の低下に伴い、確率波高はほぼ増加するが、日本沿岸では九州東岸から東海地方の沖合や日本海を含む北海道の沿岸でむしろ減少する。

④確率気圧と確率波高の変化量(絶対値)は多くの海域で5 hPaおよび0.5 mより小さく、大部分の海域で10 hPaおよび1 m以下にとどまる。しかし、九州西側海域など

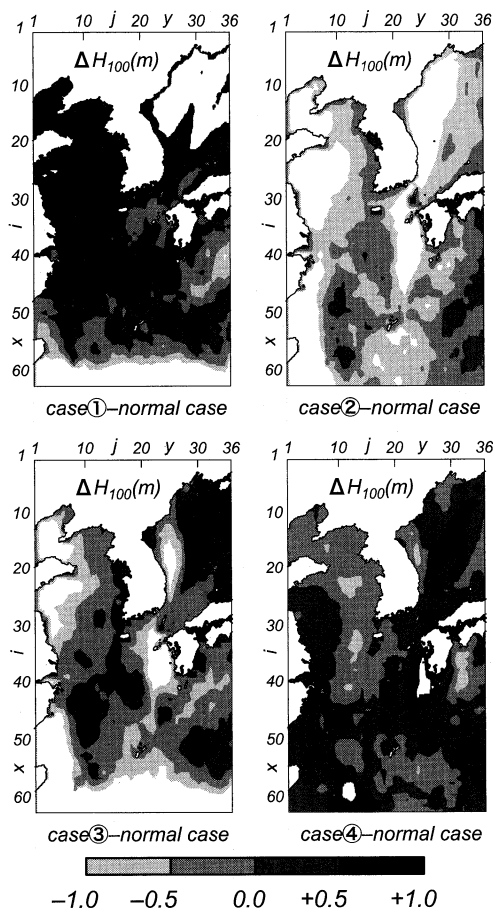


図-10 台風特性の変化に伴う100年確率波高の差(東シナ海領域)

一部の海域ではこれらが10 hPaおよび1 mを越える。

参 考 文 献

- 橋本典明・河合弘泰・松浦邦明(2005): 地球温暖化を考慮した将来の台風特性の解析と確率台風モデルへの導入, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1221-1225.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・伊藤吉孝(2000): 拡張型確率的台風モデルを用いた波高の極値推定システム, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.271-275.
- 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄(1984): エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.123-127.
- 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博(1987): 一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性, 土木学会論文集, 第381号/II-7, pp.151-160.
- Yamaguchi, M. and Y. Hatada(1997): An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946.