

台風時および低気圧時波浪シミュレーションに基づく 日本周辺海域における可能最大波高の推定

Estimation of Probable Maximum Wave Height in the Sea Areas around Japan
Based on Simulations of Typhoon- and Low-pressure- Generated Waves

野中浩一¹・山口正隆²・畑田佳男³・大福 学⁴

Hirokazu NONAKA, Masataka YAMAGUCHI, Yoshio HATADA and Manabu OHFUKU

This paper presents an estimate of probable maximum wave height (PMWH) generated by typhoons and low pressure systems on the Northwestern Pacific Ocean and the Japan Sea. Typhoons and lows are generated over a period of 100,000 years using a Monte-Carlo simulation model, and the wind and wave computations are conducted for each of a large number of selected intense typhoons and lows. The analyses show that the typhoon-generated PMWH exceeds 26 m at a sea area near Shikoku Island facing the Pacific Ocean and that the low-pressure-generated PMWH is above 26 m at an eastern sea area far from East Japan. Those PMWHs are 7 to 13 m greater than the maximum wave heights generated by historical typhoons and lows in the recent decades.

1. 緒 言

特定の海域において台風あるいは低気圧によって生じうる最大波高(可能最大波高)を適切に評価できれば,これらは海域施設の設計や防災対策上きわめて有用な基礎資料になると考えられる。

自然事象の可能最大値に関連して,台風に伴う可能最大風速の概略値が高橋(1961)によって見積られているし,水文学の分野では可能最大降水がいろいろ検討されている(竹内ら,1997)。可能最大波高に関して,その概略値は台風の場合,井島ら(1967)の式によって評価できるし,Pierson-Moskowitz (PM) スペクトルやSMB法を用いても,その極限値を推定できる。しかし,可能最大波高を合理的に推定するための台風や低気圧の設定条件は明確でない。また,最新の波浪推算モデルの適用に基づく可能最大波高の推定が北海(Holthuijsenら,1994)やノルウェー近海(Reistadら,2005)で試みられているが,仮定した低気圧の発生可能性についての確率的な合理性が見出されない。

そこで本研究では,台風と低気圧の確率的発生モデルを用いて生成した10万年相当分の台風や低気圧に対する波浪シミュレーションを北西太平洋と日本海で試み,この期間で得られた地点別最大波高をそれぞれ台風時および低気圧時の地点別可能最大波高とみなすことによって,その海域特性を現実の台風や低気圧に伴う既往最大波高の推定値との対応を含めて検討する。

2. 可能最大波高の推定方法

(1) システムの構成

可能最大波高を推定するためのシステム(野中ら,2003)は①確率的台風モデルまたは確率的低気圧モデル(いずれもモンテカルロシミュレーションモデル),②海上風推算モデル,③波浪推算モデル,よりなる。確率的台風モデルとして,気圧分布を楕円型分布で近似した場合の6時間間隔の中心位置や中心気圧など6つの台風属性の変化を季節別にモデル化した拡張型季節別モデルを用いる。確率的低気圧モデルは,気圧分布を4方向軸長が異なる楕円型分布で近似した9つの低気圧属性を6時間ごとに確率的台風モデルと同様に生成する。海上風の算定は気圧分布に対応する傾度風と擾乱の移動に伴う場の風をベクトル合成したのち,海上風への変換係数を乗じる方法(台風モデル法と低気圧モデル法)による。

波浪推算には,北西太平洋領域(格子間隔 $\Delta x = 80$ km)と日本海領域(格子間隔40 km)で格子点深海モデルを用いる。計算時間間隔 Δt は前者で1時間,後者で30分である。日本海領域単独の波浪推算では,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°回転させた格子網を使用する。そして台風時波浪推算では,高地形解像度格子網(格子間隔5 km)での1点浅海モデル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40 km格子点(後出の図-12と図-13の中の●点)に流入条件として与える。推算条件には,周波数0.036~0.5 Hz間を不等分割した20個,方向0~360°を20°で等分割した19個を用いる。

(2) 気象擾乱の抽出

北西太平洋領域における波浪推算対象台風は,図-1の実線の枠で示すように,当該領域を3分割(①南側領

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
4 愛媛大学工学部技術専門職員

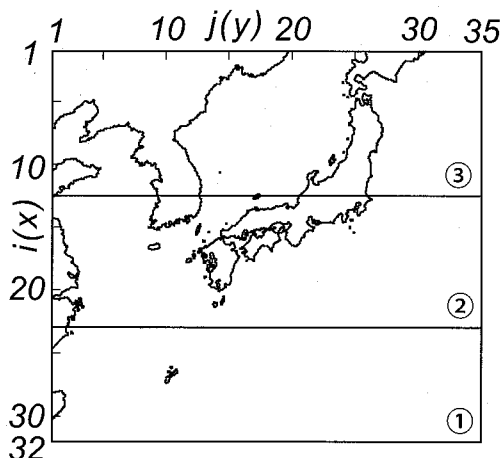


図-1 異常台風を抽出するための小領域分割図

域、②中央領域、③北側領域)した各領域のうち、①南側領域で中心気圧が910 hPa以下を維持する台風、②中央領域で中心気圧が930 hPa以下を維持する台風、③北側領域で一時点でも中心気圧が950 hPa以下を与える台風、とする。ケース数は合計6,084である。また台風の場合、遠方場気圧を1013 hPaの一定値とする。波浪推算対象低気圧は、対象領域内で遠方場気圧と中心気圧の差、すなわち最大気圧差が90 hPa以上の低気圧(26,898 ケース)とする。日本海領域では、中心気圧が940 hPa以下で日本海を通過する台風(10,933 ケース)、および最大気圧差が70 hPa以上で日本海を通過する低気圧(14,050 ケース)をそれぞれ対象台風および低気圧とする。

既往台風に伴う最大波高は北西太平洋領域および日本海領域のいずれにおいても、1948～2005年の58年間に発生した519 ケースの台風、また既往低気圧に伴う最大波高は1979～1998年の20年間148 ケース(北西太平洋領域)あるいは194 ケース(日本海領域)の異常低気圧を対象とする波浪推算により求める。入力海上風として、前者では台風モデル風を、後者ではECMWF表面風解析・再解析資料を与える。

3. 気象要因別可能最大波高の海域特性

(1) 北西太平洋における台風時可能最大波高

図-2は10万年相当の台風に対する波浪シミュレーションより得た台風時可能最大波高 H_{max} の空間分布を示す。波高は九州西岸～関東沖合の広範な海域で22 mをとり、四国沖で26 mという最も大きい値を与える。また、東シナ海で18 m、東北沖合で18 m、北海道沖合で14 mに減少する。日本海では南西部から中央部にかけて22 m域が出現している。これは中心気圧900 hPaを保つ特異な超巨大台風の進行と地形解像度の不足に伴う

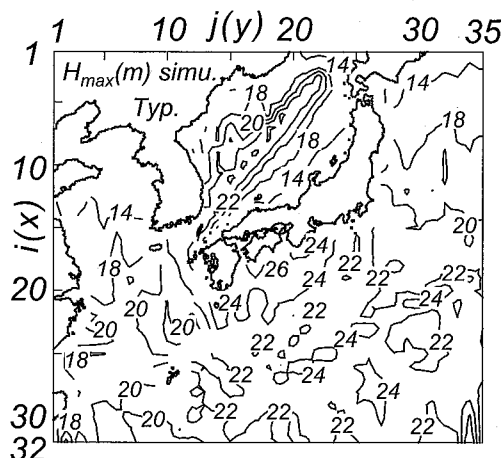


図-2 台風時可能最大波高(北西太平洋)

朝鮮・対馬海峡からの過剰なエネルギーの流入によるものであり、過大評価は否めない。第1位(可能最大)波高と第2位波高の差は最大で5 mであるから、第1位波高が突出する傾向をもつ。

図-3は2万年相当の台風時波浪シミュレーションより得た年最大波高の母分布(野中ら, 2003)を用いて推定した可能最大波高の再現期間 R の空間分布を表す。再現期間はおおむね10年以上と評価されることから、再現確率が 10^{-5} 以下と非常に小さいという意味で可能最大波高推定値は一定の妥当性をもつと言える。

図-4は過去58年間(1948～2005年)の既往台風時最大波高の空間分布を表す。波高の最大値は太平洋側で14～20 m、日本海で12 mであるから、図-2に与えた可能最大波高はこれより最大10～13 m大きい値をとる。しかし、両者の空間分布は全体として類似する。

図-5は四国沖に可能最大波高を生起した台風の6時

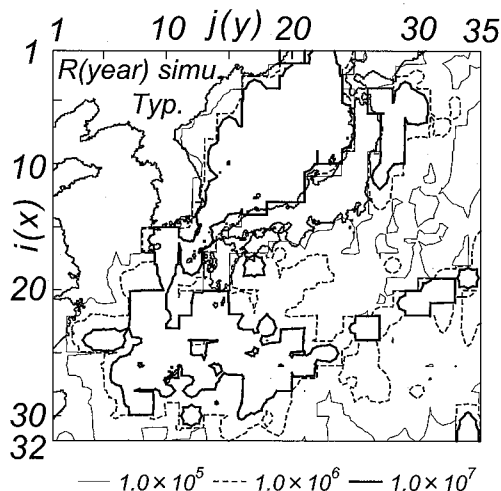


図-3 台風時可能最大波高の再現期間(北西太平洋)

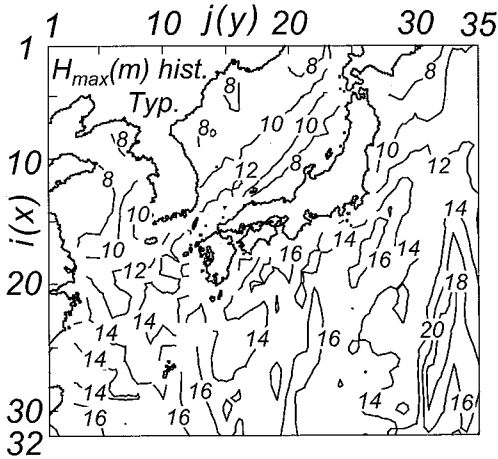


図-4 既往台風時最大波高（北西太平洋）

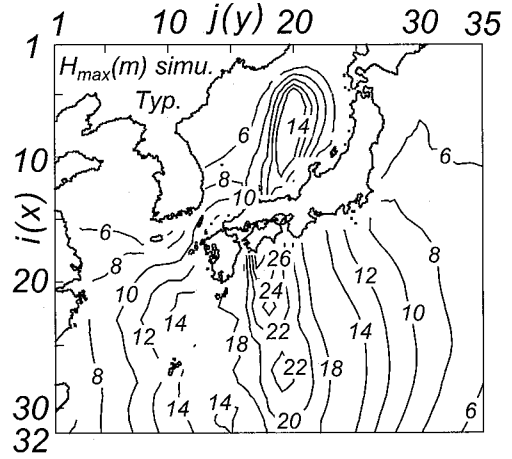


図-6 可能最大波高生起台風時最大波高の例（北西太平洋）

間ごとの経路と中心気圧，図-6 は同台風時の最大波高分布を示す．この台風は中心気圧を 900 hPa 以下に保ちながら豊後水道を N 方向に進行し，佐田岬半島を通過して日本海に抜ける経路をとっている．そのときの最大波高は高知沖で 26 m を越え，南方に向けて 20 m 域が領域南端まで広がる．井島ら (1967) の式によれば，このクラスの巨大台風（気圧降下量 $\Delta p = 140$ hPa，台風半径 $r_0 = 140$ km，進行速度 $V = 33$ km/h）に対する最大波高は 27 m と見積られるから，この場合の可能最大波高とそれほど異ならない．もっとも，井島ら (1967) の式は台風の進行速度への強い依存性をもつので，設定する台風の進行速度によって最大波高の評価値が大きく変化することに留意する必要がある．たとえば， $V = 55$ km/h の場合最大波高は 37 m と計算される．また，10 m 高度風速 U_{10} を 40 m/s として PM スペクトルによる関係式 ($H_s = 0.0246 U_{10}^2$) および SMB 法の極限条件

での関係式 ($H_s = 0.0306 U_{10}^2$) を用いると，波高 H_s はそれぞれ 39 m および 49 m と計算される．

(2) 北西太平洋における低気圧時可能最大波高

図-7 は低気圧時可能最大波高の空間分布を示す．北西太平洋における台風と低気圧の発生領域が異なることから，当該領域は図-2 の領域より NE 方向にずれている．波高は東方海域の 22 ~ 26 m から東北沿岸など周囲の 18 m に向けて三方に減少する．低気圧の発生域に当たる南西側領域で波高は 10 m にまで減少するし，日本海では 14 ~ 16 m をとり，日本側で大きい．

図-8 は 20 年間 (1979 ~ 1998 年) における既往低気圧時最大波高の空間分布を表す．空間分布の形状は低気圧時可能最大波高の分布形状と類似するが，可能最大波高が太平洋側で 6 ~ 10 m，日本海で 6 ~ 8 m 大きい．

図-9 は母分布を 1 万年相当の波浪シミュレーション資料に基づく結果 (野中ら，2003) とした場合の可能最大波高に対する再現期間の空間分布を表す．台風の場合

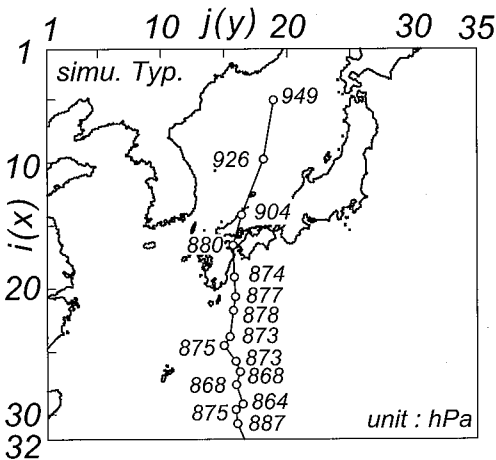


図-5 可能最大波高生起台風の経路と中心気圧の例（北西太平洋）

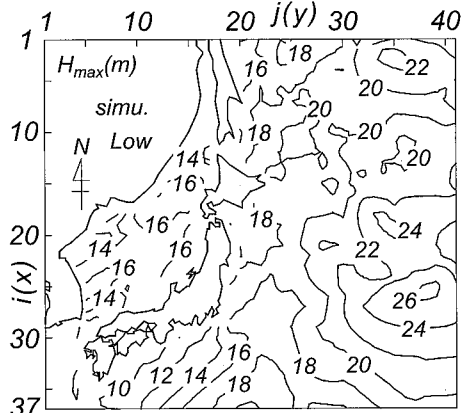


図-7 低気圧時可能最大波高（北西太平洋）

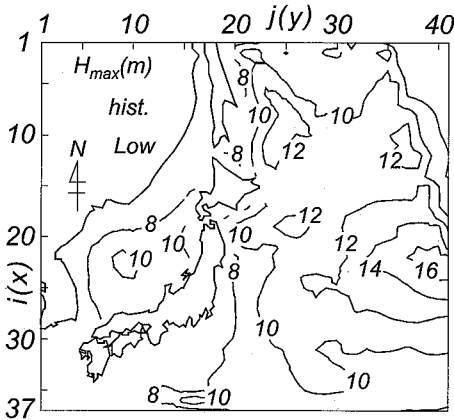


図-8 既往低気圧時最大波高 (北西太平洋)

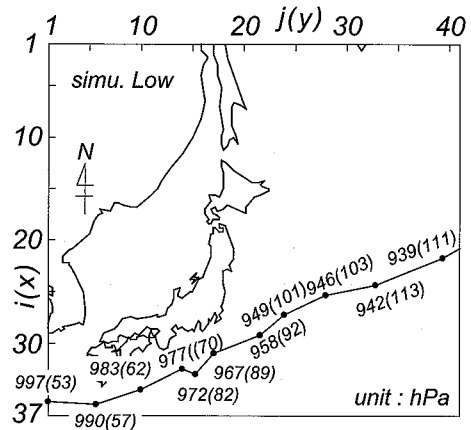


図-10 可能最大波高生起低気圧の経路と中心気圧および最大気圧差の例 (北西太平洋)

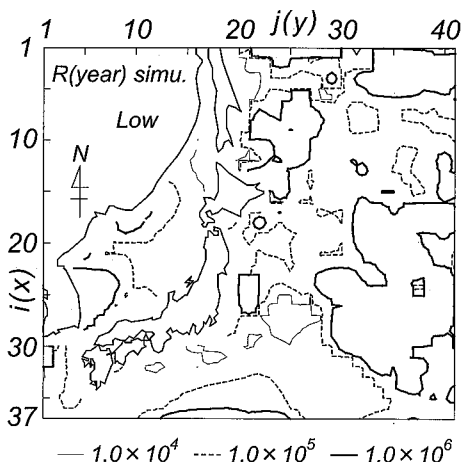


図-9 低気圧時可能最大波高の再現期間 (北西太平洋)

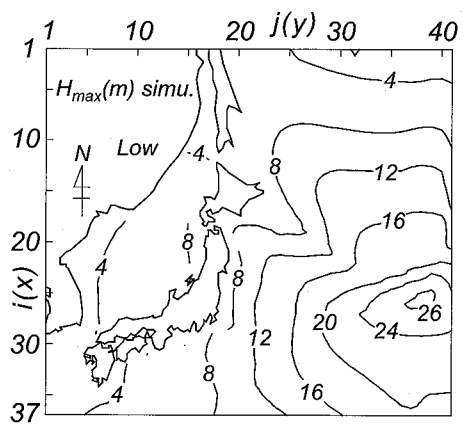


図-11 可能最大波高生起低気圧時最大波高の例 (北西太平洋)

と同様に、再現期間は広範な領域で10万年を上まわり、再現確率がきわめて小さいことから、合理的な可能最大波高の推定値が得られているとみなせよう。

図-10は東北沖に可能最大波高を生起した低気圧の6時間ごとの経路と中心気圧および最大気圧差を、図-11は当該低気圧時の最大波高分布を与える。この低気圧は発達しながら日本の南岸をNE方向に進行し、東日本の東方海域で中心気圧939 hPa、最大気圧差113 hPaという異常値に達している。低気圧の最大波高域はその経路の右側に沿ってNE方向に延びる形で形成されている。

図-2と図-7を比べると、台風時最大波高が広い範囲で低気圧時最大波高を上まわるが、東日本の東方海域および北海道や日本海の日本側沿岸で後者が大きくなるか、あるいは両者が拮抗する。

(3) 日本海における台風時最大波高

図-12は台風時可能最大波高の空間分布を示す。波高

は、日本海中央部で20 mを越え、楕円状に大陸側と日本の沿岸部に向けて12 mに減少する。日本海中央部に20 mを越える波高を生起した台風は図-2の日本海で22 m以上を生じており、波浪推算における地形近似度の向上と境界条件の適正化によって波高値が2 m小さくなる。またこの台風を除くと、波高は18 mに低下する。

図-13は過去59年間の台風に伴う既往最大波高の空間分布を表す。両資料において波高の分布状況は類似するが、可能最大波高は既往最大波高より7～10 m大きい。

(4) 日本海における低気圧時可能最大波高

図-14は低気圧時可能最大波高の空間分布図である。北海道南岸から青森県西部の日本海側および能登半島沖合に、16 m波高域がわずかにみられる。また、これに次ぐ15 m波高域は韓国東岸から日本海中央部、北海道南岸から若狭湾、ウラジオストックの東方沖と広い範囲に拡がる。この15 m波高域や16 m波高域は4ケースの低気圧によって生起されている。これらの低気圧

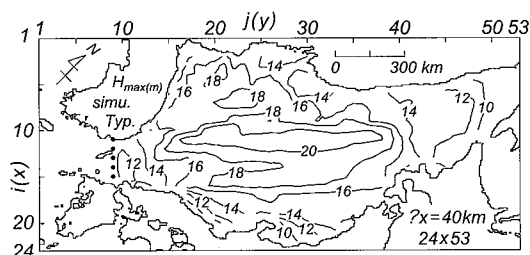


図-12 台風時可能最大波高 (日本海)

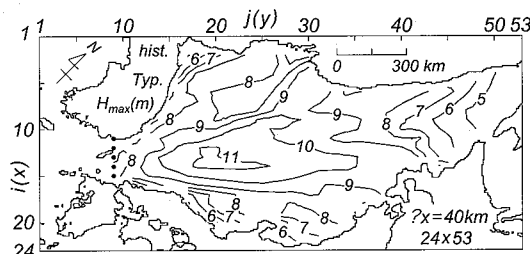


図-13 既往台風時最大波高 (日本海)

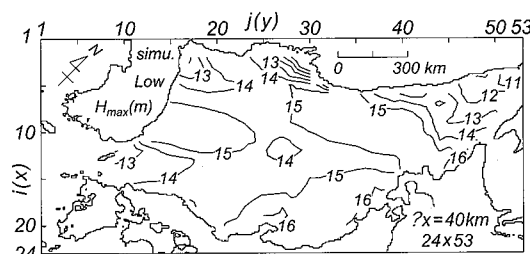


図-14 低気圧時可能最大波高 (日本海)

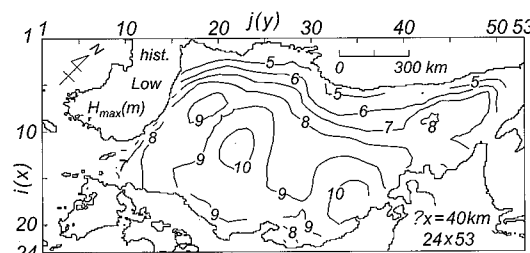


図-15 既往低気圧時最大波高 (日本海)

は中心気圧 940 ~ 950 hPa (最大気圧差 81 ~ 96 hPa) をとり、台風並に発達している。

図-15 は既往低気圧に伴う最大波高の空間分布を示す。シミュレーションでは日本海中央部の可能最大波高の突出が再現されない点を除くと、可能最大波高と既往最大

波高はいずれも NW ~ W 方向の日本沿岸に向けて増大するという意味で、その分布形状は相互に類似する。ただし、可能最大波高は既往最大波高を最大で 6 m 上まわる。

以上の検討を受けて台風時および低気圧時最大波高を比べると、つぎのようである。すなわち、台風時可能最大波高は対馬海峡から日本海のほぼ全領域で低気圧時可能最大波高を上まわる。一方、低気圧時可能最大波高は北海道南岸から鳥取沖の日本沿岸、北海道西部から大陸側およびウラジオストックの東方沖合でより大きい。台風の場合、日本海中央部で進路を NE 方向にとり、北海道付近で勢力を減衰させるのに対して、低気圧の場合、日本海中央部から発達しながら日本付近に到達することにより、高波高をもたらす。

4. 結 語

10 万年相当の波浪シミュレーション結果から、太平洋領域および日本海で推定した台風時あるいは低気圧時可能最大波高はその最大値としていずれも 26 m を越え、とくに台風時最大値は四国～紀伊半島の沖合で出現する。また、日本海領域における台風時可能最大波高の最大値は日本海中央部で 20 m を越えるが、低気圧時可能最大波高は日本沿岸部の 15 ~ 16 m である。気象要因別可能最大波高は既往気象要因別最大波高と類似した空間分布をもつが、その絶対値は最大で 7 ~ 13 m 大きい。

参 考 文 献

- 井島武士・副島 毅・松尾隆彦(1967): 数値計算による台風内の波の分布について—海洋上における台風の場合—, 第 14 回海岸工学講演会講演集, pp. 29-38.
- 高橋浩一郎(1961): 災害に関するオペレイションズ・リサーチ (II) —とくに日本の風害と関連して— (1961), 研究時報, 13 巻 7 号, pp. 499-525.
- 竹内邦良・星 清・江藤剛治・寺川 陽・宝 馨(1997): 水文リスク解析, 水文・水資源ハンドブック, 第 7 章, 水文・水資源学会編, 朝倉書店, pp. 228-234.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・大福 学(2003): 北西太平洋における気象要因別波高極値の母分布の推定, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 216-220.
- Holthuijsen, L. H., J. G. de Ronde, Y. Eldeberky, H. L. Tolman, N. Booij, E. Bouws, P. G. P. Ferier and J. Andorka Gal(1994): The maximum significant wave height in the southern North Sea, Proc. 24th ICCE, Vol. 1, pp. 261-271.
- Reistad, M., A.K. Magnusson, S. Haver, O. T. Gudmestad and D. Kvamme(2005): How severe wave conditions are possible on the Norwegian Continental Shelf?, Marine Structure, Vol. 18, pp. 428-450.