

台風時における日本海沿岸での異常波浪の追算

山口正隆*・畑田佳男**・池田 章***

1. 緒 言

強い勢力を保ちながら日本海を北東進した台風8712号は松前で既往最大観測波高を更新するほどの高波浪をもたらした。この例は、吹送時間は短いけれども季節風時の異常波浪に匹敵する高波浪が台風時の日本海においても生起しうることを示唆するものであり、日本海での異常波浪の究明においては季節風のみならず台風を検討対象とする必要がある。しかし、従来の研究は主として季節風に伴う波浪を対象としてきたし、また時空間変化の著しい台風時の波浪に関する数少ない追算研究も、水深の影響を含まず地形分解能の低い深海モデルを使用しており、沿岸波浪の再現精度に限界がある。

そこで、本研究では台風7920号および8712号時を対象として、天気図解析法(山口ら, 1988)および台風モデル法により海上風を推定した場合の日本海で、地形分解能の高い波浪追算を格子点法および1点法に基づく浅海・深海波浪スペクトル推算モデル(山口ら, 1984, 1987)により実施し、日本海沿岸での風・波浪の観測結果との比較から、台風時における海上風・波浪推算モデルの適用性を検討する。

2. 海上風および波浪の推算モデル

(1) 海上風推算モデル

本研究で使用する天気図解析法では、まず3時間ごとの極東天気図から読み取った、日本海を囲む25気圧観測点、低気圧中心あるいは高気圧中心とそこでの気圧値に対して重み付き2次元スプライン補間法を適用して気圧値の平面分布を推定する。ついで、大気の運動方程式から導かれた Bijvoet のモデルを適用することにより 80 km 間隔格子網上で3時間ごとに海上風を算定し、30分ごとに内挿する。計算に際し、過大な風速の出現を避けるため、9点平滑化式により気圧分布を3回平滑化するとともに、気温・水温差が $+2^{\circ}\text{C}$ であるとして、

Bijvoet のモデルにおける係数に $a_1=0.58$, $a_2=0.21$, $a_3=0.25$, $a_4=-0.29$ を与える。また 10 m 高度での風速 U_{10} から摩擦速度 u_* への変換は Mitsuyasu ら (1984) の経験式による。

一方、台風モデル法は、台風域内の気圧分布を Myers 式で近似して求めた中心対称傾度風と台風の移動に伴う場の風とをベクトル合成することにより、台風内の風速・風向を評価する方法である。実際の計算では、極東天気図から3時間ごとに求めた台風中心の位置および気圧深度、台風半径を与え、内挿を通じて30分ごとの海上風を格子間隔 20~40 km の格子網上で推定する。この場合、傾度風から U_{10} への変換係数を 0.6 とする。

(2) 波浪推算モデル

1点法に基づく浅海波浪推算モデル(1点モデル)および格子点法に基づく浅海・深海波浪推算モデル(格子点モデル)で使用する基礎方程式は浅海域におけるエネルギー平衡方程式であり、次式で表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial t} + c_g \cos \theta \cdot \frac{\partial F}{\partial x} + c_g \sin \theta \cdot \frac{\partial F}{\partial y} + c_g / c \\ \cdot (\sin \theta \cdot \frac{\partial c}{\partial x} - \cos \theta \cdot \frac{\partial c}{\partial y}) \frac{\partial F}{\partial \theta} = cc_g G(f, \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $F=cc_g E(f, \theta)$, c : 成分波の波速, c_g : 成分波

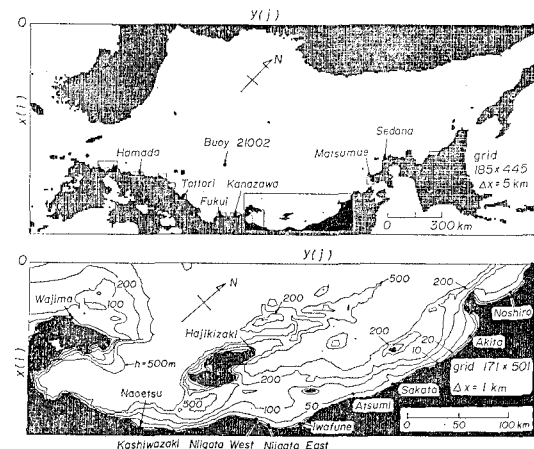


図-1 1点モデルで使用する格子網

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学科

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部海洋工学科

*** 正会員 工修 大阪府土木部

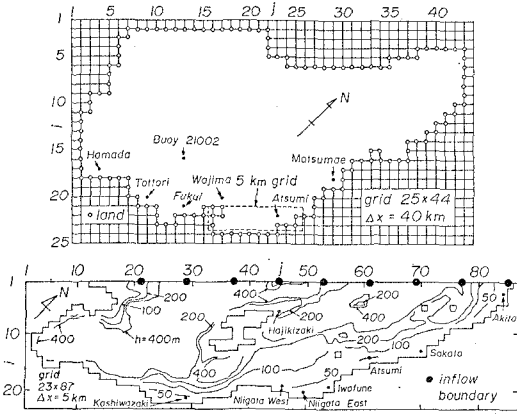


図-2 格子点モデルで使用する格子網

の群速度, $E(f, \theta)$: 方向スペクトル, f : 周波数, θ : 方位角および $G(f, \theta)$: エネルギーの流出入を表すソース関数, である。

図-1 は 1 点モデルによる波浪追算で使用する格子間隔 5 km の日本海大領域 (185×445) に格子間隔 1 km の北陸沿岸海域 (171×501) あるいは波浪追算点周辺海域を組み込んだ 2 段階格子網である。計算に用いる周波数データは $f=0.05\sim0.5$ Hz を不等分割した 23 個, 方向データは各波浪追算点周辺の地形を考慮して, 沖側海域に多くの波向線が到達するように決定した 37 個である。したがって, 各方向間隔は波浪追算点および周波数ごとに異なるが, $3.6\sim10^\circ$ の範囲にある。また波向線上の波計算点における海上風は, 台風モデル法の場合 20 km 間隔格子網で, 天気図解析法の場合 80 km 間隔格子網で 30 分ごとに与えられた海上風分布を 2 次元 4 点補間式によって内挿する。

図-2 は格子点モデルによる波浪追算で使用する格子間隔 40 km の日本海大領域 (25×44) と格子間隔 5 km の北陸沿岸海域 (23×87) を示したものである。波浪追算は台風 8712 号時には日本海大領域で深海モデルにより行い, また台風 7920 号時には日本海大領域での深海モデルによる波浪追算結果を入力境界条件として北陸沿岸海域で浅海モデルにより実施する。この場合, 入力境界条件は格子間隔 5 km, 時間間隔 6 min ごとに時空間内挿して与えられる。計算に用いる周波数データは $f=0.06\sim0.5$ Hz を不等分割した 18 個, 方向データは $0\sim360^\circ$ を等分割した 19 個, 時間間隔は $\Delta t=30$ min (日本海大領域) および $\Delta t=6$ min (北陸沿岸海域) である。また, 日本海は閉領域を形成すると仮定し, 陸上部の方向スペクトルを 0 とすることによって境界条件を与える。

なお, 観測結果との比較検討を目的とする波浪追算の場合には, 波浪観測点に相当する格子点に波高計設置水深を与えると同時に, 浅海モデルと同様, 相対波高と

もに増大する平衡定数をもつ TMA スペクトルによって碎波減衰項を評価し, 波浪に及ぼす水深の影響を考慮するという便宜的方法を採用した。ただし, 浅海性碎波の影響は水深 40 m 以上の地点ではほとんどみられない。

3. 海上風および波浪の追算

(1) 気象概況

図-3 は台風 7920 号および 8712 号の経路図である。台風 7920 号は非常に強い勢力を保ちながら沖縄の南岸をかすめて西日本に接近, 和歌山県白浜に上陸した後, 早い速度で日本列島を縦断し, オホーツク海に通り抜けた。この台風は南方洋上において中心気圧が 900 mb 以下となった, まれにみる超大型で勢力の強い台風であり, 日本本土接近時には勢力がやや衰えたものの, 日本列島を縦断したため, 近畿地方から北海道の太平洋岸で異常波浪が発生し, 重大な波浪災害をもたらした。一方, 台風 8712 号は沖縄南方海上を北西寄りに進んだ後, 石垣島と沖縄本島の間を通過して東シナ海を北上した。その後, 対馬海峡を通り, 強い勢力を保ち続けながら日本海中央部を経て宗谷海峡に移動した。このため, この台風は山陰地方から北海道に至る広い範囲に大きな被害を与えた。

(2) 海上風の追算結果と観測結果との比較

台風 7920 号時には天気図解析法 (BM と記す) により, 一方, 台風 8712 号時には天気図解析法および台風モデル法 (TM と記す) により海上風を算出した。

図-4 は台風 7920 号時の追算風と観測風の時系列比較 (U_{10} : 風速, θ_w : 風向) を台風経路近くに位置する輪島, 弾崎, 能代および瀬棚について示す。これによると, 輪島では追算風におけるピーク時の位相が遅れる点や瀬棚では計算は発達初期で観測結果より過大な値を与えるなどの相違も見出されるが, 全般的に追算結果は観

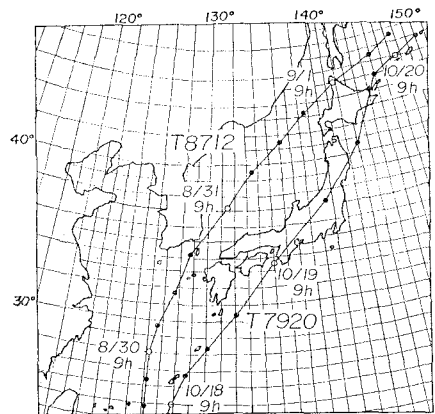


図-3 台風 7920 号および 8712 号の経路

測結果にかなりよく追従する。したがって、天気図解析法は台風7920号に伴う風の変化を比較的良い精度で再現する。しかし、7920号は本州を縦断したことにより気圧分布が円形よりくずれていたため、台風モデル法の再現性は不十分であった。

図-5 は台風8712号時における追算風と観測風との比較を直江津、能代および瀬棚について行ったものである。両者の対応は以下のようである。

①直江津では天気図解析法はピーク風速の出現時刻を8時間程度早く評価する。これは新潟～酒田間の北陸沿岸で共通して見られる。一方、台風モデル法は観測結果と同様な風変化を与えるが、北陸沿岸で風速を過小評価する傾向にある。

②台風経路に近い能代および瀬棚では天気図解析法の再現性はかなり優れている。また台風モデル法も同様であるが、能代の風速を過小評価する。

以上の結果をまとめると、台風8712号時に天気図解析法は日本海沿岸部全体における風の経時変化を精度良く再現するが、北陸沿岸部では計算風のピークが観測風より

り約8時間早く出現するという問題を有する。一方、台風モデル法は予想以上に良好な再現性を有するが、北陸沿岸では風速を過小評価する傾向にあるし、台風の接近前や通過後の再現精度に問題がある。

(3) 波浪の追算結果と観測結果との比較

図-6 は台風7920号を対象として行った格子点モデル (GM と記す) および1点モデル (PM と記す) による有義波時系列 ($H_{1/3}$: 有義波高, $T_{1/3}$: 有義波周期) の追算結果を日本海沿岸各地の観測結果と比較したものであり、格子点モデルによる結果のうち、北陸沿岸海域に位置する輪島～秋田間の波浪は 5 km 間隔格子網で、それ以外の地点の波浪は 40 km 間隔格子網で得られている。さて、追算結果と観測結果の対応は以下のように示される。

①台風7920号時の波浪の経時変化図における顕著な特徴は、台風の接近・通過に伴って波高は増加・減少するのに対し、周期は漸増後それほど変化しない点にある。これは台風通過後も日本海北部で発達した波浪がうねり性の波浪として伝播するためであるが、全体的には両

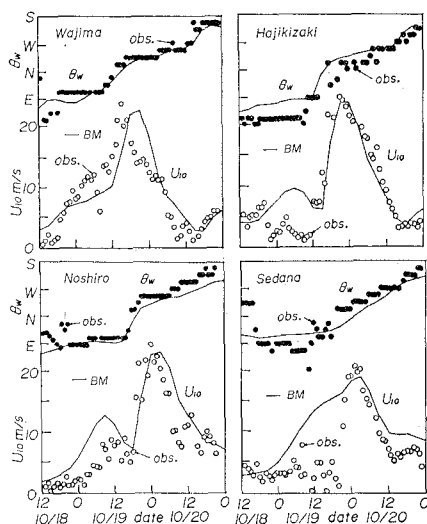


図-4 台風7920号時における風特性の比較

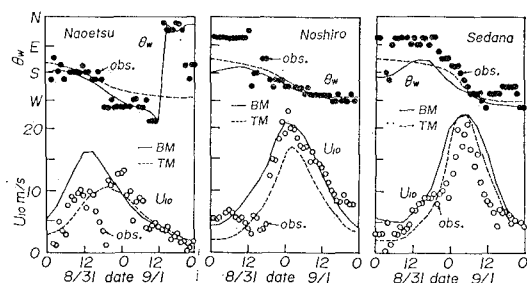


図-5 台風8712号時における風特性の比較

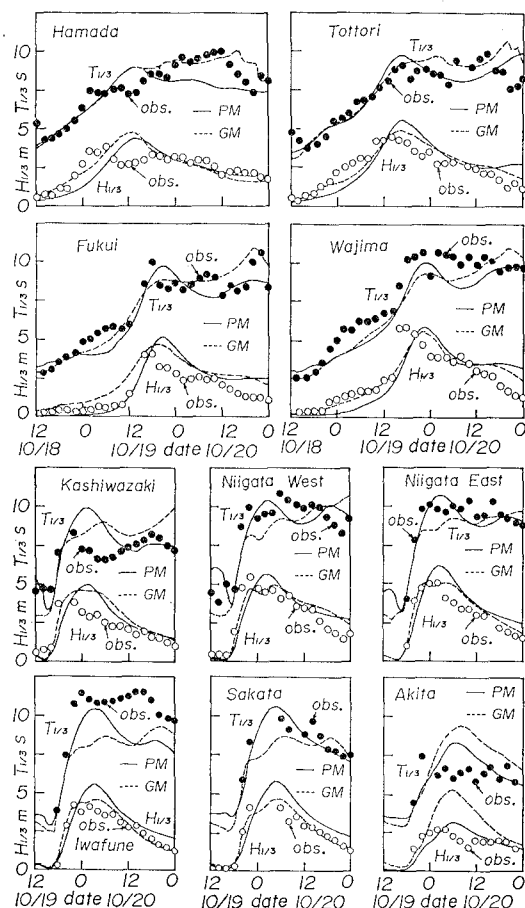


図-6 台風7920号時における有義波の比較

モデルによる計算は日本海での長周期波を含む波浪の変化を定性的にも定量的にも良く再現する。

②1点モデルは格子点モデルに比べて大きい波浪の発達率と、観測結果より過大な値を与えるという傾向が北陸沿岸海域で顕著である。また地形分解能の高い1点モデルによる波浪の発達は地形分解能の低い40 km 間隔格子網での格子点モデルによるものよりやや遅れるが、急激である。

③40 km 間隔格子網での格子点モデルによる計算は、浅海性砕波の影響を粗い近似で考慮するにもかかわらず、観測結果の変化に良く追従する。また、地形分解能を向上させた格子点浅海モデルによる計算は北陸沿岸海域の観測結果を良好な精度で再現する。

④秋田では地形分解能の高い1点モデルが地形分解能の低い格子点モデルに比べてはるかに良好な再現結果を与える。

つぎに、図-7 は天気図解析法および台風モデル法により海上風を推定した場合の格子点モデルによる有義波の追算結果と観測結果とを台風8712号時において比較したものである。まず、海上風の推定を天気図解析法による場合、波浪の追算結果は観測結果より早い発達と緩やかな減少を与えるが、最盛時を含む波浪の経時変化に対する再現性は、浜田およびブイ No. 21002 の減衰期における周期の挙動を除いて比較的良好である。一方、台風モデル法による場合、波浪は天気図解析法による場合より遅れた発達と早い減衰を与えることから、観測結果との対応はブイ No. 21002 を除き十分でない。

図-8 は2段階格子網で1点モデルを使用した場合について図-7と同様の比較図を示したものである。1点モデルはいずれのモデルによって海上風を推定した場合

にも相互によく似た経時変化を与え、全般的にみて日本沿岸全域における観測結果の変化傾向を比較的精度よく再現する。しかし、計算は観測結果にみられる波浪の急激な発達と減衰を十分には説明しえず、とくに天気図解析法を用いた場合にその傾向がやや強い。以上のように、陸地地形や島による遮蔽作用を受ける海域での沿岸波浪を精度よく推定するために、1点モデルであれ格子点モデルであれ、細かい格子間隔をもつ格子網で地形分解能の高い波浪計算を行う必要がある。

(4) 最大有義波高の平面分布

図-9 は天気図解析法(台風7920号および8712号)および台風モデル法(台風8712号)で海上風を推定した場合に格子点モデルにより求めた最大有義波高と平均波向の平面分布を示したものである。まず7920号時にはN~NW 寄りの強風が吹送したことから、波向もこれに対応し、台風経路に近い北海道積丹岬近海や北陸沿岸での最大波高は7 m を越える。一方、台風8712号時には最大波高の等値線は、北海道松前付近に形成された極大域を焦点としてNE-SW 方向に伸びる楕円状の形をとり、最大波の波向もSW を中心にしてW~S の範囲にある。以上のように、台風経路の日本海に相対する位置が両台風で異なるために、波浪場は対照的な分布を示す。

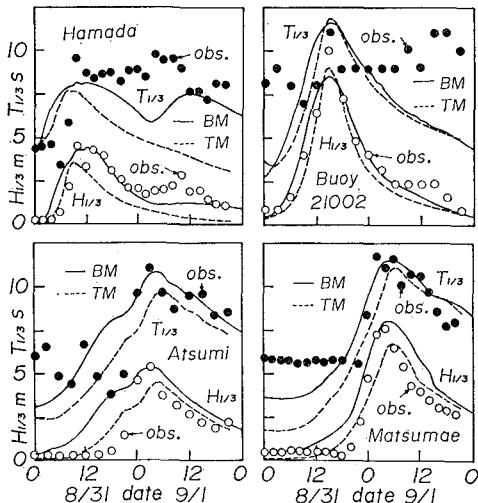


図-7 台風8712号時における有義波の比較(格子点モデル)

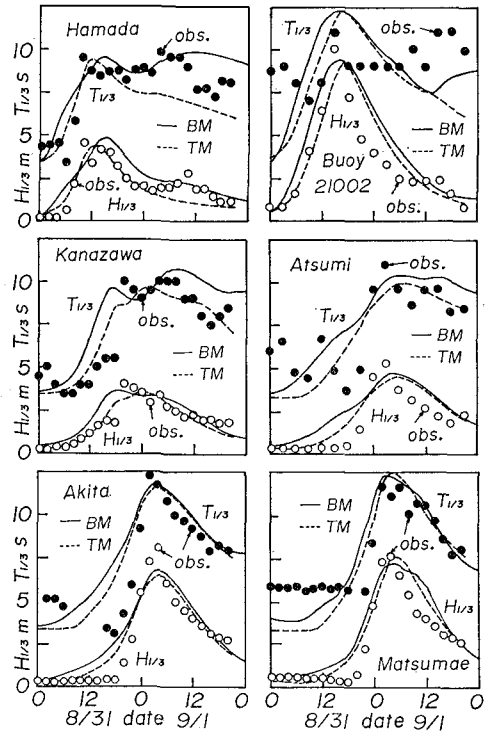


図-8 台風8712号時における有義波の比較(1点モデル)

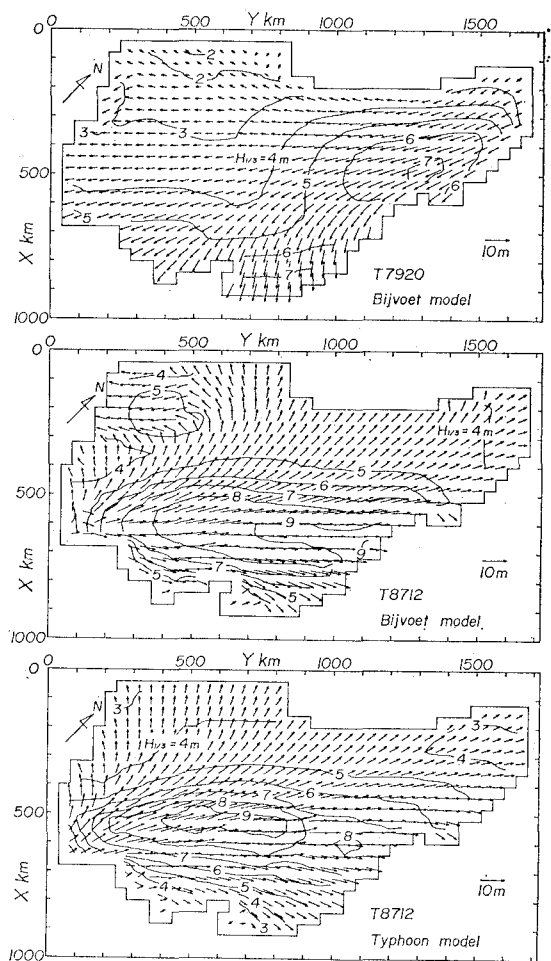


図-9 日本海における最大波高の平面分布 (台風 7920 号および 8712 号)

ついで、最大波高分布に及ぼす海上風推定法の影響をみると、台風モデル法の場合、最大波高の極大域は能登半島沖合の日本海中央部に現れるのに対して、天気図解析法の場合では北海道西部にあり、いずれも $H_{1/3} \approx 9\text{ m}$ を示す。台風モデル法では台風中心付近の風速が大きい

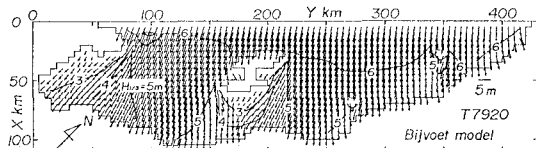


図-10 北陸沿岸海域における最大波高の平面分布 (台風 7920 号)

が、風向の変化も著しいため、台風の中心気圧が低い時点の日本海中部で急速に波浪が発達し、そこに最大波高の極大域が出現する。一方、天気図解析法では強風域が SW—NE 方向に楕円形を示し、準一定風向をもつ強風が広い海域を長時間吹送する結果、台風の最終通過点である北海道西岸に最大波高の極大域が出現することになる。

図-10 は台風 7920 号時の北陸沿岸海域における最大波高の平面分布図である。6 m を越える入射波浪は能登半島や佐渡島などによる遮蔽効果および海底地形の影響により、外海に開いた直江津、新潟および酒田周辺で 1 m 以上、また、遮蔽効果を強く受ける富山湾や寺泊付近では 2 m 以上波高を低下させる。この結果、沖合領域での入射波高がほぼ一様であるにもかかわらず、北陸沿岸部の波高は非常に起伏の激しい分布を示すこととなり、図-9 にみられるような 7 m を越える最大波高域は形成されない。

4. 結 語

本研究で得られた成果はつぎのように要約される。

①天気図解析法は台風時の急激な風特性の変化を比較的良好な精度で再現する。一方、台風モデル法の適用は台風が円分布に近い気圧分布を有して海上上部を通過する場合で、しかも台風の影響が卓越する時点に限定される。

②著者らの波浪推算モデルは台風時波浪を良好な精度で再現するが、この場合、沿岸波浪の再現には地形分解能を高めた浅海モデルを用いる必要がある。

③台風 7920 号と台風 8712 号はその通過経路の相違により日本海で対照的な波高・波向分布をもたらした。

最後に、貴重な風・波資料を提供頂いた運輸省第 1、第 3 港湾建設局、北海道開発局、新潟県、秋田県に謝意を表します。

参 考 文 献

- 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.
- 山口正隆, 畑田佳男, 大福 学 (1988): 天気図解析に基づく日本海での海上風の推算, 愛媛大学工学部紀要, 第 11 巻第 3 号, pp. 339~347.
- Mitsuyasu, H. and T. Kusaba (1984): Drag coefficient over water under the action of strong wind, J. Nat. Disas. Sci., Vol. 6, No. 2, pp. 43~50.