

Super Gradient Wind (SGW) を考慮した台風の風の推算と高潮数値計算

的場萌実¹・村上和男²・柴木秀之³

従来の高潮数値計算における気圧分布には Myers のモデルが多く用いられてきた。しかし、この気圧分布モデルを用いて瀬戸内海に來襲した 3 つの台風の風速分布を追算した結果、2 つの台風において台風中心近傍での最大風速が観測値を大きく下回り、またそれに伴う高潮偏差も過小評価されることがわかった。Myers モデルの気圧分布ではこのような台風中心近傍で発生しているとされている Super Gradient Wind (以下 SGW) を考慮していないため、本研究では Mitsuta・Fujii による SGW を考慮した風速分布のモデルと、Myers の式にもう一つのパラメーター B を追加した拡張式 (Holland のモデル) を用いて計算を行った結果、SGW を考慮した計算値が得られ、実測値に近い風速および高潮偏差が得られた。

1. はじめに

一昨年のがわ国における台風の被害、および昨年の米国におけるハリケーンの被害等、世界的に熱帯低気圧による災害が急増している。また最近台風やハリケーンの規模が大型化してきていると云われている。台風による高潮の数値計算法は従来から各機関で実施されてきた。しかし、従来の計算法では台風中心近傍での風速や高潮偏差の大きさが実測値に比べ過小評価される傾向にあり、現地で発生した高潮災害の現象を説明できない。

台風による風の推算は、一般的には気圧傾度とコリオリ力、遠心力との釣合から求められる傾度風と台風の移動に基づく場の風との和によって求められている。この計算法では陸上の摩擦や地形の影響を考慮していないので、気象台での観測値と比べると大きな値が得られるのが一般的である。しかしながら、台風中心付近では風速は計算値に比べて実測値の方が大きいことが指摘されている。これは、台風中心近傍では地表面の摩擦により空気塊は内側に流入するため、傾度風を越えた強い風が発生すると云われている。これを SGW と呼んでいる。そこで本研究では、従来の計算法では考慮されていない SGW を考慮して、高潮の数値計算法の精度の向上を試みた。SGW を考慮する方法として、Mitsuta・Fujii (1986) の風速分布式の改良モデルによる方法と、Holland (1980) の気圧分布式の改良モデルによる方法を用いた。これら二つの方法による SGW を考慮した風速分布を用いて高潮の計算を行い、観測値との比較を行った。

2. 研究概要

Veltcheva ら (2002) は台風 9918 号における風を、SGW を考慮した Mitsuta・Fujii による式を用いて計算を行い、従来のモデルでは過小評価されていた風の再現

を高度化した。本研究では、同地域である瀬戸内海西部の周防灘を対象とし、台風 9918 号に加え台風 0416 号及び 0418 号の解析を行った。その結果、Veltcheva らの台風 9918 号と同様に周防灘を南北に通過した台風 0416 号では、苅田における風速の計算値が実測値に比べて上回ることがわかった。図-1 に 0416 号の経路を示す。また、宇部においては風速がほぼ実測値に近い値が再現されているが高潮が過小評価されている。そのグラフを図-2、図-3 に示す。周防灘は南北の陸地に挟まれた東西に広がった海域である。そのため台風が南北に横断した場合、南側の沿岸で起こる高潮は周防灘全体の風が大きく影響していると考えられる。また、苅田では現在、新北九州空港の建設により海上に近い位置で風速を測定している。そのため地形や摩擦の影響が小さく、海上風に近い値を得ることができる。そこで本研究では南北の代表点として苅田と宇部の二つに着目し、Mitsuta・Fujii の SGW を考慮した風速モデルと、Holland の気圧分布モデルを用いて解析を行い、両方の結果の比較、検討を行った。図-4 に周防灘における苅田と宇部の位置関

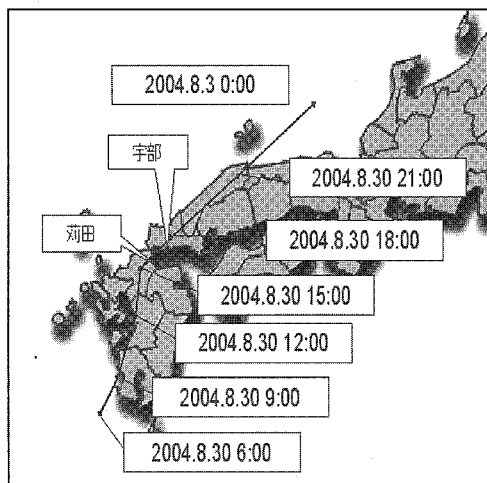


図-1 台風 0416 号の経路図

1 学生会員 修(工) 武蔵工業大学大学院工学研究科都市基盤工学専攻
2 フェロー 博(工) 武蔵工業大学教授工学部都市基盤工学科
3 正会員 博(工) 株式会社 エコー

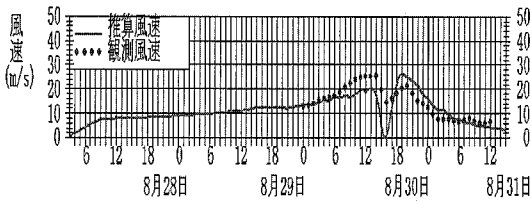


図-2 0416 号来襲時の荻田における風速の実測値と従来モデルによる計算値

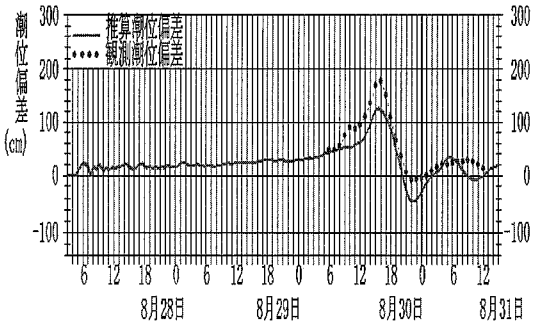
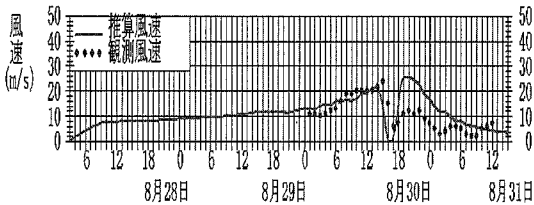


図-3 0416 号来襲時の宇部における風速と高潮偏差の実測値と従来モデルによる計算値 (上) 風速 (下) 高潮偏差

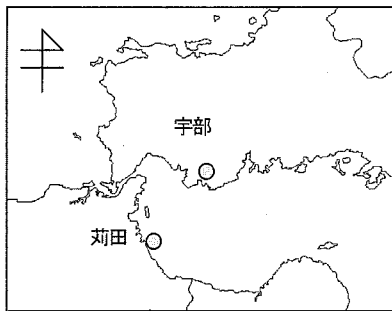


図-4 荻田と宇部の位置関係

係を示す。

3. 台風モデル

(1) 従来モデル

ここでいう従来モデルとは以下に示す気圧分布式と風速分布式を用いるものである。

台風域内の気圧分布は、Myers モデルを用いる。そ

の式を式 (1) 示す。

$$P = P_0 + \Delta P \exp\left(-\frac{r_{\max}}{r}\right) \quad (1)$$

ここに、 P はある地点での海面気圧、 P_0 は台風中心の海面気圧、 ΔP は中心深度、 r は台風中心からの距離、 $r_{\max}$ は台風中心から最大風速が発生するまでの距離を表す。

台風域内の風は、気圧分布に対応する傾度風 U_1 と、低気圧の進行に伴う場の風 U_2 の合力として表される。それぞれの式を式 (2)、式 (3) に表す。

$$U_1 = C_1 V_{gr} = C_1 F(r_{\max}) \\ = C_1 \left(-\frac{fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho_a} \frac{\partial P}{\partial r}} \right) \quad (2)$$

$$U_2 = C_2 \frac{U_1}{C_1 F(r_{\max})} V_r \quad (3)$$

ここで、 V_{gr} は傾度風速、 f はコリオリ係数、 r は等圧線の曲率半径を表す。なお、摩擦力により風速の大きさは減少するので、傾度風 U_1 は低減係数 C_1 (0.6~0.7) をかけた値となる。また、式 (3) に用いられている C_1 、 C_2 は換算係数、 V_r は台風の進行速度を表す。

(2) Mitsuta・Fujii のモデル

Mitsuta・Fujii のモデルは超傾度風 (SGW) を表す分布式であり、従来モデルにおける傾度風を式 (4) に示すモデルに置き換えて計算を行う。

$$V_{super} = C_1(x) U_1 \quad (4)$$

ここに、 $C_1(x)$ は風速低減係数であるが、この場合には SGW を考慮するために、式 (5) に示す x によって決まる関数で与えられており、この関数をかけることにより台風の中心付近の風を傾度風よりも強くし、中心から離れた地点ではほぼ従来通りの風速値となる。

$$C_1(x) = C_1(\infty) + [C_1(x_p) - C_1(\infty)] \left(\frac{x}{x_p}\right)^{k-1} \\ \times \exp\left[\left(1 - \frac{1}{k}\right) \left[1 - \left(\frac{x}{x_p}\right)^k\right]\right] \quad (5)$$

ここに、 x は $r/r_{\max}$ 、 x_p は 0.5、 k は 2.5、 $C_1(\infty)$ は台風中心から無限遠点における C_1 の値で 2/3、 $C_1(x_p)$ は C_1 ピーク値を表しており、中心深度の関数として式 (6) で与えられる。 C_1 ピーク値はほぼ 1.2 に近い値となっている。

$$C_1(x_p) = C_1(\infty) (1 + 10^{0.0231 \Delta P - 1.96}) \quad (6)$$

(3) Holland のモデル

Holland によるモデルは気圧分布を表すモデルであり、従来モデルにおける Myers の気圧分布にパラメーター B を増やした式 (7) で表される。

$$P = P_0 + \Delta P \exp\left(-\frac{r_{\max}}{r}\right)^B \quad (7)$$

ここに、 B は一定値 (概略値: 0.5~2.5) である。

気圧分布に Holland のモデルを用いる場合には、風速分布は式 (1), (2) に示した従来モデルによる風速分布と同様に算定される。

4. Mitsuta・Fujii のモデルによる計算結果

風速分布に Mitsuta・Fujii のモデルを用いた場合の台風 0416 号の荻田における風速の実測値と計算値を図-5 に、また宇部における高潮偏差の実測値と計算値を図-6 に示す。従来モデルを用いた場合の風速分布と比較すると、計算値が大きくなり、実測値に近い値を示していることがわかる。またこれにより、過小評価されていた宇部における高潮偏差も実測値に近い値を示しており、近似度が高くなったといえる。しかし、荻田における風速の最大値はほぼ再現されているものの、台風中心付近での計算値はやや小さくなっている。よって宇部における高潮偏差も全体的に計算値が小さくなっているものと思われる。

5. Holland モデルによる計算結果

(1) 気圧分布について

前の章で示した通り、Holland のモデルでは Myers のモデルにもう一つのパラメーター B を加える。 B の値は 0.5~2.5 と範囲が広い。そこで本研究では B の値

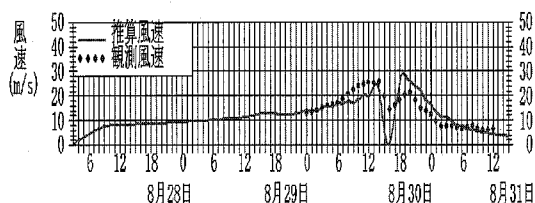


図-5 0416 号来襲時の荻田における風速の実測値と Mitsuta・Fujii のモデルによる計算値

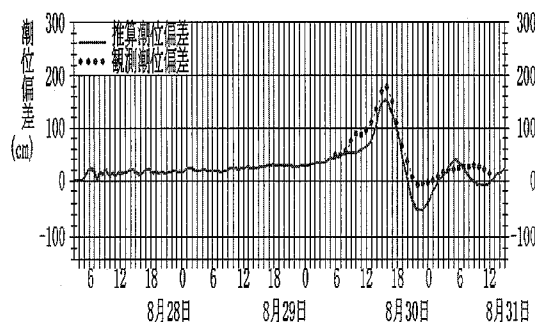


図-6 0416 号来襲時の荻田における高潮偏差の実測値と Mitsuta・Fujii のモデルによる計算値

を選定するため、いくつかの係数を用いて計算を行った。

(2) 風速分布について

図-7 に示すのは Holland のモデルにおけるパラメーター B の値を変化させたときの台風中心からの距離と傾度風との関係を表したグラフであり、台風 0416 号が荻田付近を通過する時刻のものである。この図を見るとわかるように、Holland のモデルでは B の値を大きくすると台風半径近傍における風速が大きくなるモデルである。

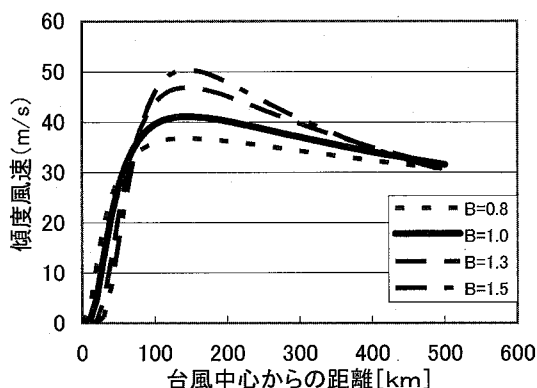


図-7 0416 号来襲時における台風中心からの距離と傾度風との関係 (2004. 8/30 15:00)

(3) 計算結果

本研究では、傾度風を超えた強い風、SGW を考慮するため、 B の値は 1.0 より大きい値で行った。図-8, 9 に示すのは、Holland のモデルにおける一例として $B=1.5$ の場合の台風 0416 号の荻田における風速の実測値と計算値の比較、および宇部における高潮偏差の実測値と計算値の比較である。両者ともかなり良い一致を示していることがわかる。

(4) 台風 9918 号との比較

図-10 に示すのは台風 9918 号来襲時の荻田における風速の実測値と従来モデルによる計算値である。台風 9918 号では荻田における風速の計算値は、台風 0416 号以上に実測値を下回る結果となった。図-11 に示すのは Mitsuta&Fujii のモデルを用いた場合の結果であり、SGW を考慮した結果、従来モデルと比べるとやや実測値に近い値となったが、このモデルを用いるだけでは良

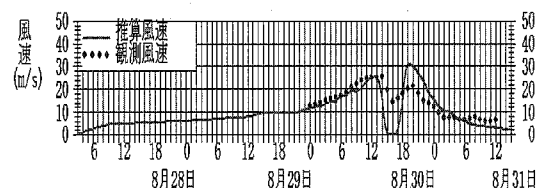


図-8 0416 号来襲時の荻田における風速の実測値と Holland のモデルによる計算値

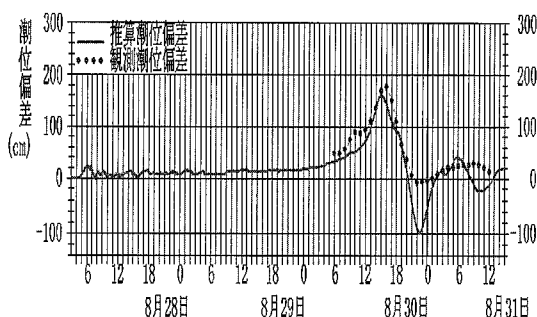


図-9 0416 号来襲時の宇部における高潮偏差の実測値と Holland のモデルによる計算値

く再現されなかった。そこで台風 9918 号の場合にも Holland のモデルを用いて計算を行った。B の値は台風 0416 号同様、1.0 より大きい値を用いた。1.5, 1.7, 2.5 を用いたときの結果を図-12 に示す。台風 9918 号来襲時には宇部の高潮偏差のデータが欠測しているため、ここでは苅田の風速のみを示す。台風 0416 号と同様に B に 1.5 を与えたが、実測値に近づいたものの良い再現はできず、最大風速は Mitsuta&Fujii のモデルとほぼ同じ結果となった。B を 1.7 にしたところさらに実測値に近い値になったが 2 m/s ほどであった。台風 9918 号のケースでは、B の値はさらに大きくする必要があり、B の既定最大値 2.5 にしたところ、最大風速が再現された。しかし B の値を大きくしすぎると台風中心通過前の風速が下がってしまい、全体的には良く再現されていない。本研究では二つの台風でのみの解析を行ったので B を選定するための特性を明確にすることはできなかった。このように B の値は台風の規模などの条件によっても変化するものと思われる、台風 9918 号と 0416 号の様に同じ海域でよく似た経路でも、大きく変動するものと考えられる。

6. 二つのモデルによる計算結果の比較

前の章で示した Mitsuta・Fujii によるモデルを用いた場合には、台風 0416 号の苅田における風速は実測値に近づいたものの若干小さく、宇部における高潮偏差を見ると、20 cm～30 cm ほど過小評価している傾向が見

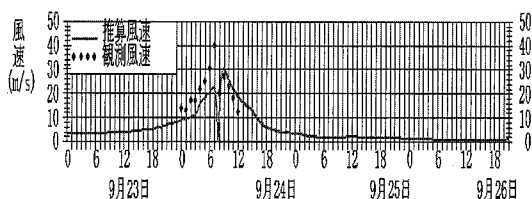


図-10 9918 号来襲時の苅田における風速の実測値と従来モデルによる計算値

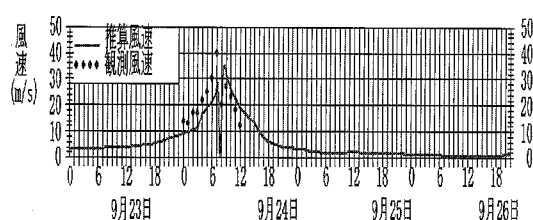


図-11 9918 号来襲時の苅田における風速の実測値と Mitsuta & Fujii のモデルによる計算値

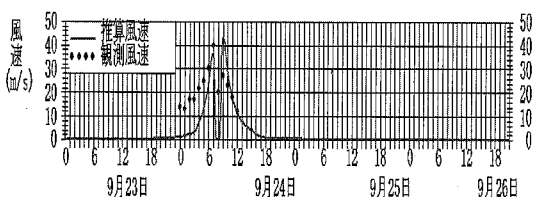
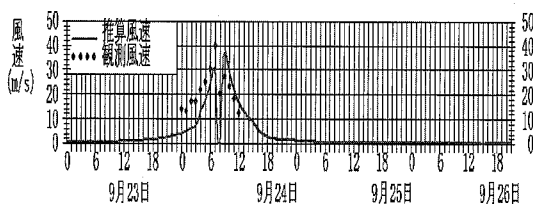
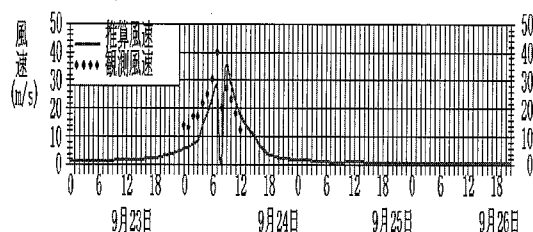


図-12 9918 号来襲時の苅田における風速の実測値と Holland のモデルによる計算値
(上)B=1.5 (中)B=1.7 (下)B=2.5

られる。また、台風 9918 号では苅田における風速は実測値と 10 m/s 以上の差がある。この結果と Holland のモデルの結果を比較すると、まず台風 0416 号の場合では B=1.5 を用いた場合にはさらに良い近似ができていと考えられる。苅田における風速は、台風通過前に関しては非常に良い結果が得られている。また、宇部における高潮偏差はほぼ再現されているが、最大潮位が 20 cm ほど過小評価されている。台風 9918 号では Holland のモデルで B=1.5 を用いた場合には Mitsuta・Fujii のモデルを用いた計算結果とほぼ同じになったが、Holland のモデルの方が台風中心よりも離れたところにおける再現度は高い。さらに B=1.7 を用いた場合には最大風速は小さいが、さらに精度が向上した。Holland のモデルでは B の値を最大値 2.5 まで上げることにより最大風速を再現できたが、台風中心通過前の風速が下が

ってしまう結果となった。

Mitsuta・Fujii のモデルでは式 (5) に示すように、風速が台風半径より内側 ($r/r_{\max}=0.5$) で最大になるモデルである。一方 Holland のモデルでは台風半径 ($r_{\max}$) で最大になり、B の値を大きくするほど台風半径での最大風速が大きくなるモデルである。よって荻田における風速の Mitsuta・Fujii のモデルによる結果 (図-5) と Holland のモデルによる計算結果 (図-8) を比較すると、Mitsuta・Fujii のモデルでは、30 日 14 時 (台風中心通過時刻) の最大風速は再現されているが、通過前の風速は計算値が小さい。また、Holland のモデルでは通過前の風速はほぼ再現されているが、最大風速がやや小さい。これは、この時間の台風中心から荻田までの距離は約 57 km であり、図-7 の台風中心からの距離と傾度風との関係を見ると風速はあまり大きくならないことからわかる。全体的に見ると Mitsuta・Fujii のモデルよりも Holland のモデルの方が良く再現されている。しかし、台風中心からの距離と中心深度からの距離によって決まる係数を与える Mitsuta・Fujii のモデルと違い、Holland のモデルではパラメーター B の値は台風経路や対象地点によって変動する。B の値についてはより多くの台風データを用いて今後更なる検討が必要である。また、SGW は台風中心の近傍で吹くといわれているが、海上風の測定結果があまり多くないことから、どのような補正式が最適なのかに関してもさらに検討する必要があると考えられる。

7. おわりに

台風 0416 号と台風 9918 号の解析を行った結果、どちらも従来モデルでは荻田における風速が実測値を大きく下回った。しかし、SGW を考慮するモデルを用いて計算することによって風速及び高潮偏差を実測値に近い値で再現することができた。このような台風中心近傍で発生する SGW を考慮するうえでは、従来モデルによる計算結果からもわかるように、従来モデルで再現する風および高潮偏差には限界があると考えられる。

宇部における風速の計算値はほぼ実測どおりに再現されていたものの、高潮偏差は実測値を下回って過小評価されている。これは陸上地形や摩擦の影響により風速が低減されていることも考えられるが、宇部における高潮偏差は周防灘全体の風が影響していることも考えられる。本研究において、SGW を考慮した Mitsuta・Fujii のモデル及び Holland のモデルを用いて計算を行い、荻田に

おける風速の計算値を実測値に合わせることで宇部における高潮偏差も精度良く再現されることがわかった。荻田では海上に近い地点における風速を測定しているため、実測値の信頼性は高い。そこで本研究では荻田を対象としたが、荻田以外の点でも同様に従来モデルでは再現されない強い風が吹いていることが考えられる。よって今後は他地点の実測値を収集する必要がある。

Mitsuta・Fujii のモデルでは風速低減係数によって風の大きさが決まり、その係数は台風半径と台風中心からの距離の割合の関数によって決まる。台風 0416 号ではこのモデルによってほぼ再現されているが、それでもやや小さく、また台風 9918 号ではこのモデルのみでは再現することはできていない。一方 Holland のモデルではパラメーター B の範囲が大きく、広範囲で数値を与えることによって強い風を再現することができる。しかしパラメーター B の値は、台風中心からの距離や台風経路、対象地点によって変動するので適切な値を考える必要がある。そのため、今後さらに多くの台風の場合における気圧および風のデータを収集し、パラメーター B の特性を追究する必要がある。

SGW を考慮する際に、Mitsuta・Fujii のモデルと Holland のモデルではどちらのモデルが精度良く再現されるかは SGW の発生する地点の台風中心からの距離に大きく関わっている。しかし現段階では SGW の発生メカニズムは定かではなく、明確には判断できない。よって今後はより多くの台風を解析する必要がある。しかし、Mitsuta・Fujii のモデルと Holland のモデルではどちらも従来モデルより精度が向上され、その結果高潮偏差も実測値に近い値になった。このことから高潮数値計算を精度良く行うためには、SGW を考慮して海上風計算を高度化させることは非常に重要であることが確認された。

参考文献

- Mitsuta, Y. and T. Fujii (1987): An Analysis and Synthesis of typhoon Wind over Japan, Bull. Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., Vol.37, Part4, No329, pp. 169-185
- Veltcheva, A. D., 河合弘泰 (2002): 台風の気圧分布の歪みと超傾度風を考慮した高潮推算, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 241-245
- 藤井健・林泰一・奥田昌弘 (2000): 台風 9918 号の気圧場客観解析と海上風推算について, 文部省科学研究費補助金研究成果報告書, pp. 49-53
- Holland, J. G. (1980): An analytical Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes, MONTHLY WEATHER REVIEW, Volume 108, pp. 1212-1218