

新しくなった小田原地域の光波観測網とその気象補正について

原田昌武*・伊東博*・棚田俊收*

New electro-optical distance measurement network in Odawara area and meteorological correction

by

Masatake HARADA*, Hiroshi ITO* and Toshikazu TANADA*

1. はじめに

神奈川県西部地域はフィリピン海プレート北端部周辺に位置し、同プレートが本州側に対して北西方向に運動することによって複雑なテクトニクスを形成している。そのため同地域には国府津―松田断層や神縄断層などの活断層が存在し、また西相模湾断裂によるM7クラスの地震の切迫性が指摘されている(石橋, 1988a; 石橋, 1988b; 石橋, 1994; 石橋, 2003)。さらに、箱根火山ではたびたび火山性の群発地震も発生している(例えば、棚田ほか, 2002; 丹保ほか, 2005; 棚田ほか, 2007)。これらの地震・火山活動について監視および調査研究を行うため、神奈川県温泉地学研究所では、地震・地殻変動観測網を展開している(温泉地学研究所, 1999)。

地殻変動観測は傾斜観測・地下水位観測・重力観測・光波測量・GPS測量と多項目にわたり、連続した記録が得られている。これらのうちの光波測量については、箱根地域と小田原地域の2つの観測網がある(図1)。箱根地域では箱根火山の活動をモニタリングするため1992年に光波観測網を構築し観測を開始した。一方、小田原地域は小田原市城山に光波測距儀を設置し、1995年から神奈川県西部地震の震源域と考えられる足柄平野周辺の地殻変動の観測を開始した。

光波測量は両観測網ともに、恒石(1990)の自動光波測量基線網のシステムを適用した準リアルタイム測量を行っている。このシステムでは1時間ごとに全ての測線(6測線)の基線長を計測している。これまでの測量結果からは、2000年から2001年あたりを境に基線長のトレンドが変化しており、神奈川県西部地域の地殻内部の状態が変わった可能性があることを報告している(原田ほか, 2007)。

箱根観測網は現在でも安定して観測を継続しているものの、小田原観測網は光波測距儀を設置している建物が閉鎖されることとなり、小田原観測網は全測線の測定が

できないため2006年9月に観測を休止した。その後、2007年6月14日からは小田原観測網の反射器を設置していた酒匂観測点に光波測距儀を移設し新たに観測網を構築した(図2)。

光波測量は測距儀からレーザー光を発射し、観測点に設置された反射器からの反射を受けて往復時間を計測し、測線の距離を計測する。しかし、レーザー光は通過する大気の影響を受け、光速が減速したり波線が湾曲したりする。そのため測定された基線長は見かけ上短時間で変動しているように見える。この短周期の変動は真の地殻変動を捕らえている訳ではなく、大気の影響による誤差である。この大気、特に気象要素である気圧・気温・湿度による見かけ上の変化を軽減させるために、基線長を測定すると同時に、測距儀を設置した場所で気象要素も観測し基線長の気象補正を行っている。しかし、測距儀を設置している場所でのみの気象観測では観測値の空間代表性に乏しく、気象補正後のデータにも気象要素に起因すると考えられる見かけ上の基線長変化があり、適切な補正がなされていないと考えられる。そこで我々は小田原観測網の全ての反射点に気温・湿度計を設置し気象観測を開始した。測線の両端における気象観測データから基線長の気象補正を行い、気象要素による見かけ上の基線長変化をより精度よく除去することが可能となれば、これまで以上の精密な地殻変動の監視が期待される。

そこで本報告では、新しくなった小田原地域の光波観測網の特徴、および、光波測量の気象補正の改良、基線長測定の精度向上について報告する。

2. 新・小田原光波観測網

小田原地域の新たな光波観測網では、これまで反射点であった酒匂観測点(小田原市西酒匂)に測距儀を設置した(図2)。酒匂観測点は相模湾まで約1kmと近く、

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第39巻, 73-77, 2007.

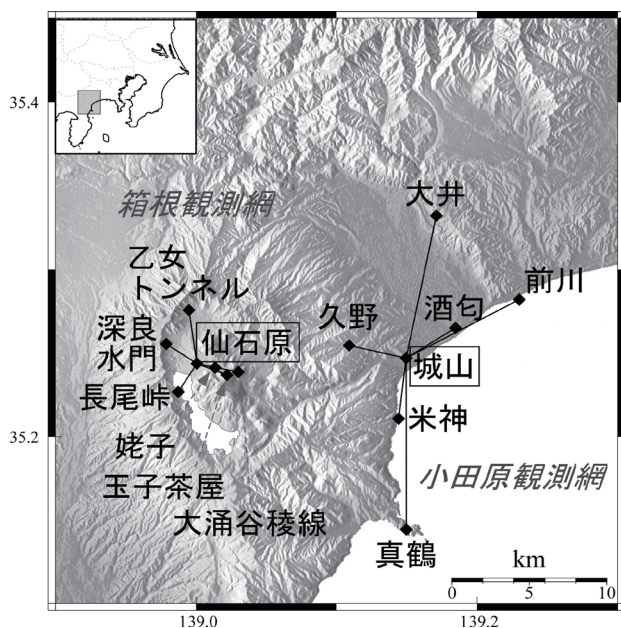


図1 光波測量の観測点分布 (2006年9月まで)。

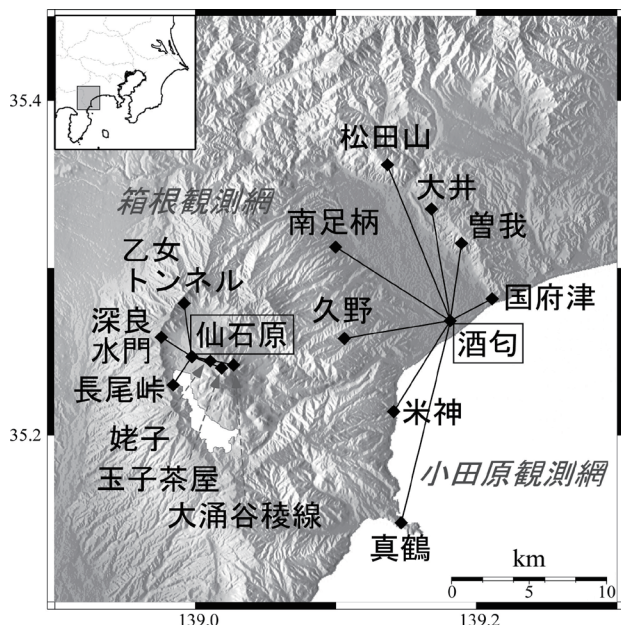


図2 新・小田原光波観測網の観測点分布 (2007年6月から)。箱根光波観測網については変更していない。

また大磯丘陵と箱根火山の間にある足柄平野にあるため周囲の視界も良好であり、測距儀の設置には好都合である。

このように観測条件が非常に良かったため、これまでは6測線の基線長の観測を行っていたが、新・小田原観測網の構築にあたっては基線を8測線に増強した。これまでも光波測量による基線長観測を行っていた大井、久野、米神、真鶴観測点については、反射器の方向を調整することにより、新観測網でも継続して観測を行うことになった。また、新たに国府津、曾我、松田山、南足柄の4地

点に観測点を設置した。なお、旧観測網の前川観測点については、観測点付近の新規建造物によって観測が継続できないため廃止した。

新・小田原光波観測網の最大の特徴は以下の2点である。

- ・国府津、曾我、大井、松田山観測点の4測線は国府津－松田断層帯周辺に反射器を設置し、同断層帯のモニタリングを強化するように配置している。
- ・他の4観測点(南足柄、久野、米神、真鶴観測点)もより広域の地殻変動を監視するように配置し、足柄平野を中心として神奈川県西部地震の想定震源域をバランスよくカバーしている。

これにより従来の観測網より空間的に密で、詳細な地殻変動の検出が期待される。

3. 光波測量における基線長の気象補正

3.1. 気象観測と気象補正と気象観測

我々は小田原地域に理想に近い光波観測網を構築したが、前述の通り、観測結果には気象要素に起因する短周期の見かけ上の基線長変化がある。これまで基線長を測定すると同時に、測距儀を設置した場所でのみの気象観測データ(気圧・気温・湿度)から基線長の気象補正を行っている(写真1)。

新・小田原光波観測網で使用している測距儀(WILD DI3000S)の場合、基線長の気象補正は次式で表される(WILD LEITZ, DISTOMAT DI3000取扱説明書)。

$$\Delta D = 281.5 - \frac{0.29035P}{1 + 0.00366T} + \frac{11.27H}{100(273.16 + T)} \times 10^{\frac{7.5T}{237.3 + T} + 0.7857} \dots (1)$$

ここで、 ΔD は ppm 単位での気象補正值、 P は気圧 (mb)、 T は気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 H は相対湿度 (%) である。通常のルーチン観測においては (1) 式に測距儀設置点の気象観測データを代入し気象補正值を求める。最終的に求める気象補正された基線長 (D) は、

$$D = D_0(1 + \Delta D \times 10^{-6}) \dots (2)$$

によって決定する。ただし、 D_0 は補正前の基線長である。

しかし、1観測点のみの気象観測データからの補正には限界がある。そこで我々は全ての反射点にエスペックミック社製の温度・湿度計(RS-12)を設置し気象要素の観測を開始した。この温度・湿度計のセンサーはサーミスタ(温度)、高分子湿度センサー(湿度)であり、測定精度はそれぞれ $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\% \text{RH}$ である。観測には2リットルのペットボトルの底を切り取り、その中に気象観測センサーおよびデータレコーダーを入れ反射器の

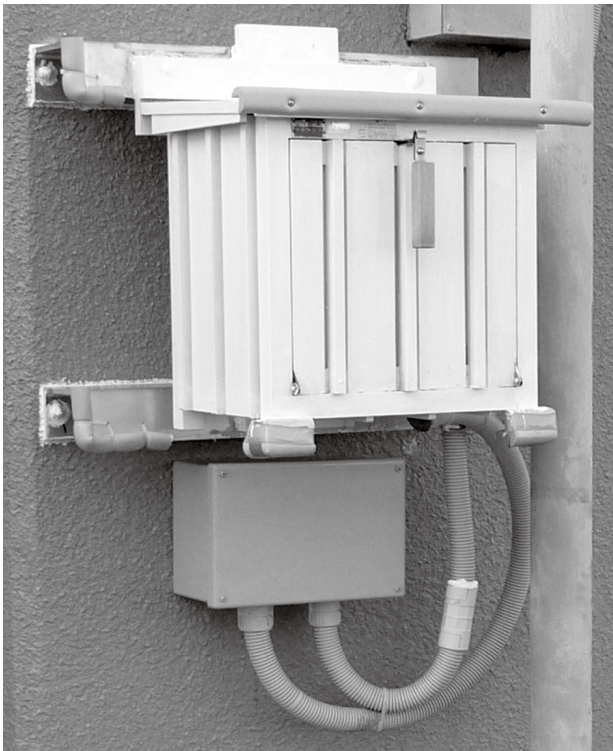


写真1 光波測距儀設置点(酒匂観測点)における気象観測。



写真2 反射点における気象観測の例(南足柄観測点)。

周辺に設置した(写真2)。観測データは現地のデータレコーダーに収録されるためリアルタイム処理はできない。そのため、3ヶ月ごとにデータを回収した。また、15分サンプリングでデータ収録をしているため、光波

測量による基線長測定時間の前後のデータから線形補間することによって反射点での気象観測データとした。これらのデータおよび測距儀設置点での気象観測データを用いることによって気温・湿度の平均値を計算し、(1)式および(2)式によりそれぞれの基線長の気象補正を行った。なお、気圧については空間的不均一性が少ないこと、絶対値は大きいものの変化自体は小さいこと、気圧・気温・湿度の3チャンネルのデータレコーダーが高価なことから反射点では気圧の観測を行わず、測距儀設置点での気圧値を用いて基線長の気象補正を行った。

3.2. 基線長の気象補正結果

2007年6月15日から8月30日の南足柄観測点における気温・湿度の観測結果を図3に示す。この気温・湿度データは光波測量の観測時間に補間したものである。そのため、気温・湿度観測は継続してデータを得られているものの、天候不良等により光波測量が実施できなかった時間は、気温・湿度データも欠測として扱っている(例えば、6月下旬頃の数日にわたる欠測)。図3の○印、□印は測距儀設置点でのルーチン観測に使用している気温、湿度データを示す。また、◇印、×印はルーチン観測用の百葉箱中にエスペックミック社製の温度・湿度計で観測したもの、+印、△印は反射点において同機器で観測した気温、湿度を示す。測距儀設置点の百葉箱中の2つの観測機器は、温度についてはほぼ同じ変化を示しているが、湿度については傾向は同じであるものの数%のオフセットがあるように見える。

これらの気象観測データを用いて、南足柄観測点における基線長の気象補正を行った結果を図4に示す。図中の○印は気象補正前の基線長を、□印はルーチン観測と同じ測距儀設置点のみの気象観測データから気象補正を行った基線長を示す(以下、1観測点補正と呼ぶ)。また、×印は基線長の両端でエスペックミック社製の温度・湿度計で観測し、それらの平均値から気象補正を行った基線長である(以下、2観測点補正と呼ぶ)。この期間中、補正前の基線長は15cm程度の変動が見られるが、1観測点補正では5cmの変動に収まっている。さらに2観測点補正では基線長の変動は3cm程度となっており、気象補正の効果が大きいことがわかる。特に6月中旬や8月中旬において1観測点補正では見かけ上の基線長変化が大きい、2観測点補正では外れることもなく、より安定した観測データが得られている。この期間中、地殻変動による基線長の変化がなかったと仮定し、基線長の標準偏差を求めた結果を表1に示す。基線長のバラツキを示す標準偏差からも2観測点補正の方が基線長の気

南足柄観測点の気象観測データ

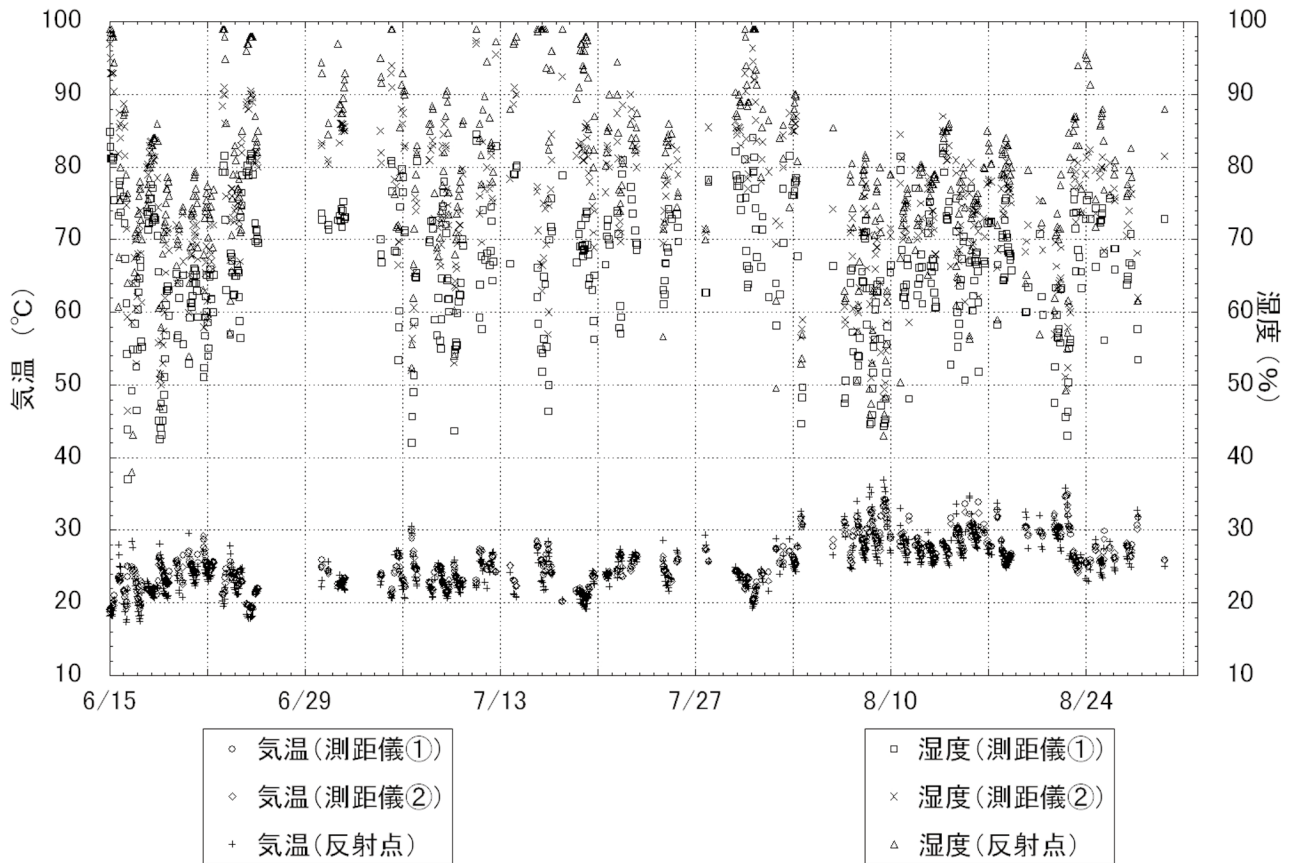


図3 南足柄観測点における気温・湿度観測データ (+, △)。○印、□印は測距儀設置点でのルーチン観測に使用している気温、湿度データ(測距儀①)を、また、◇印、×印はルーチン観測用の百葉箱中にエスペックミック社製の温度・湿度計で観測した気温、湿度を示す(測距儀②)。

象補正として有効であることが明らかである。

他の観測点については気象観測を行ったものの、観測自体に問題があり有効な2観測点補正が行えなかった。今後同様の実験を行う際には気象観測機器をペットボトルに入れるのではなく、ソーラー・ラジエーション・シールドを用いるなど正確な気象観測を実施する必要がある。

4. まとめ

光波測距儀を酒匂観測点に移設し、新たに小田原地域の光波観測網を構築した。新・小田原光波観測網は国府津-松田断層帯周辺に光波測量の基線を増強するとともに、神奈川県西部地震の震源域となるであろう足柄平野の広域地殻変動の監視も強化するように設計した。

この小田原光波観測網に対し、基線の両端で気象観測を行い、より精度の良い気象補正ができるか試験的に観測を行った。その結果、ルーチン観測で行われている測距儀設置点のみの気象観測データから基線長の気象補正をするよりも、より気象要因による誤差を軽減できる結果が得られた。もしこのような気象観測データをリアルタイムで収集することができれば、プレスリップなどの前駆的な地殻変動を捉えられる可能性が広がるであろう。

この小田原光波観測網に対し、基線の両端で気象観測を行い、より精度の良い気象補正ができるか試験的に観測を行った。その結果、ルーチン観測で行われている測距儀設置点のみの気象観測データから基線長の気象補正をするよりも、より気象要因による誤差を軽減できる結果が得られた。もしこのような気象観測データをリアルタイムで収集することができれば、プレスリップなどの前駆的な地殻変動を捉えられる可能性が広がるであろう。

表1 南足柄観測点の基線長における標準偏差と1観測点補正による平均基線長。

観測点	標準偏差(m)			平均基線長
	元データ	1観測点補正	2観測点補正	
南足柄	0.0279	0.0075	0.0063	9568.6674

南足柄観測点の基線長変化

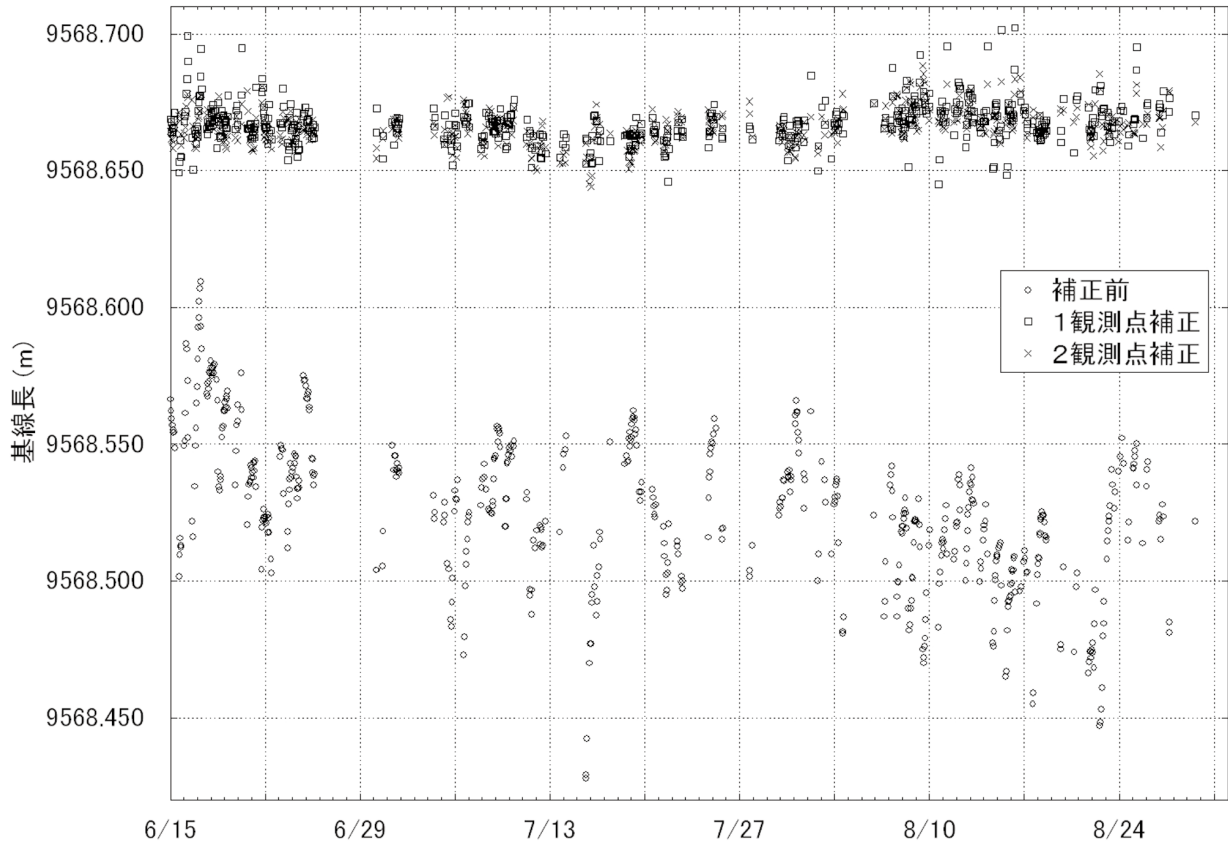


図4 南足柄観測点の基線長における気象補正結果。○印は気象補正前の基線長を、□印は測距儀設置点のみの気象観測データから気象補正を行った基線長（1観測点補正）を示す。また、×印は基線長の両端での気温・湿度の平均値から気象補正を行った基線長（2観測点補正）を示す。

謝辞

本研究における気象観測および基線長の気象補正については、平成19年度神奈川県重点基礎研究推進事業（研究課題名；国府津－松田断層帯での光波測量データの気象補正）として実施しました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 原田昌武・棚田俊收・伊東博・本多亮（2007）神奈川県西部地域の地殻変動，月刊地球号外，57，133-139.
- 石橋克彦（1988a）“神奈川県西部地震”と地震予知Ⅰ，科学，58，537-547.
- 石橋克彦（1988b）“神奈川県西部地震”と地震予知Ⅱ，科学，58，771-780.
- 石橋克彦（1994）大地動乱の時代，岩波書店，234pp.
- 石橋克彦（2003）小田原地震は起こるのか？，地震ジャーナル，(36)，8-13.
- 温泉地学研究所（1999）温泉地学研究所における「神奈川県西部地震」の取り組み，温地研報告，29，3-40.
- 棚田俊收・代田寧・伊東博・袴田和夫（2002）2001（平

成13）年箱根火山の群発地震活動について，温地研観測日より，(52)，1-4.

- 棚田俊收・本多亮・原田昌武・行竹洋平・伊東博（2007）神奈川県内およびその周辺における2006年（平成18）年の地震活動、温地研観測日より，(57)，1-12.
- 丹保俊哉・棚田俊收・伊東博・代田寧（2005）光波測量基線網で捉えられた2001年箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動，測地学会誌，51，45-48.
- 恒石幸正（1990）1987年7月の伊東沖群発地震と海底噴火に対する自動光波観測，地学雑誌，99，31-43.
- WILD LEITZ, DISTOMAT DI3000 取扱説明書，79pp.

