

4. 水準測量と検潮

測地学データのうち、主に水準測量と検潮（潮汐観測）で得られた前兆的な変動について調査したが、外国の事例は観測条件があまり判らないので評価しておらず、今回のものには含まれていない。作業は完了しておらず、今後もデータベースの追加・修正を行う予定である。調査に際しては、測器を用いた観測記録だけでなく、潮位の異常低下など目撃者の話として伝えられている現象も含めるようにした。

本格的な測量や検潮の事業は、日本では100年以上続けられており、地殻変動観測の中では最も長期間のデータが得られる項目である。観測によって検出された地震前兆も、今村遺稿(那須, 1977)などに見られるように、古くから報告されている。最近では力武(1986)などによって地震前兆現象の集大成が行われ、その中にも測地学的前兆がかなり含まれている。今回の調査では、これらの報告に掲載されているものを中心に、できるだけ原著等に戻って現象を調べ、その評価を行うように努めた。

精密な測地測量は、最近の御前崎周辺における観測など例外的なものを除けば、その測定間隔が数年以上であり、短期的変動を検出するには適さない。しかし、ボアホール型の歪計や傾斜計に見られるような降水の影響や測器の経年変化がないので、長期的地殻変動の検出には適している。一方、検潮は連続的な観測であり、地盤の長期変動だけでなく、短期変動も観測可能であるが、潮位は海況変動、気象条件、地盤沈下などの影響を受けるので、これらの他現象にも十分注意する必要がある。

評価は3段階に分けることになっているが、この節の測地学的データについては一応次のような基準を採用した。

前兆現象の評価基準

-
- 1：地震発生との因果関係が十分あると考えられ、前兆として肯定できるもの。
 - 2：地震発生の前兆現象の可能性もあるが、現象の実在性または地震との因果関係に疑問が残るもの。
 - 3：現象の存在が相当疑わしいか、地震発生と直接関係しない現象と見られるもの。
-

個々の前兆に対する評価と詳しい説明は別の機会に報告する予定であるので、ここでは代表的な事例についていくつかの問題点を紹介する。水準測量は土地の上下変動を測定するものである

が、観測回数が少ないと、報告された現象が地殻変動を示しているのか、単なる測定誤差の累積または測定過誤によるものか判定できないことが多い。例えば、新潟地震(1964)前約10年間の水準変動(Tsubokawa *et al.*, 1964; 檀原, 1973)は地震前の異常な土地隆起を観測したものとして有名であるが、茂木(1982b)は水準変動のパターンを検討し、異常隆起が1955・56年の水準測量における誤差によるものではないかと指摘している。一方、藤井(1982)は、1955年の測量成果が特に悪いとする積極的な理由が見当たらず、従来の解釈でもよいのではないかとする見解を示した。水準測量で誤差が累積することは珍しくなく、すべての観測結果を正しいものとして扱うことはできないが、合理的な解釈が困難であるからといって、そのデータを無視することも適当ではなかろう。筆者には、1955・56年の測量成果がどの程度正しいかを判定することは困難であり、“異常隆起”の評価は前述の基準で2とせざるを得ない。他の地震の発生前にみられた中・短期の水準変動についても、変化の異常を証すには観測回数が少な過ぎるため、前兆としての評価が2となるものが多い。

東南海地震(1944)の時に、越山(1986)らによって掛川付近で行われていた水準測量の異常なデータが地震の直前予知の立場から注目されている(茂木, 1982a)。一連の測量における往路と復路の値の水準差の分布を図4-1に示すが、区間2および3の往復差は標準偏差の2倍をかな

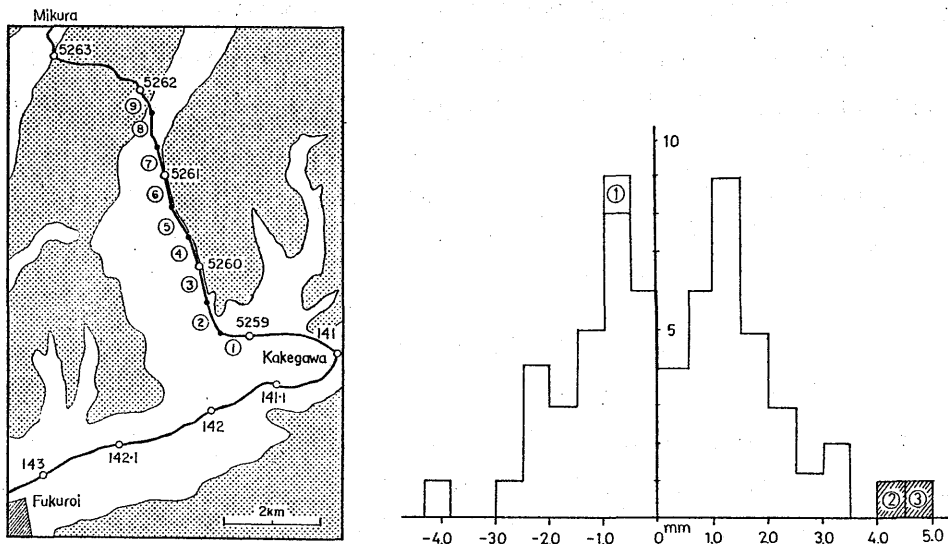


図4-1 左：東南海地震直前に越山らが実施した水準測量の路線図(茂木(1982a)による)。白丸は水準点、黒丸は固定点、陰影部は標高700m以上の区域を示す。右：越山らの水準測量結果における往復差の分布(Sato(1977)に一部加筆)。区間①、②、③は地震の前日午前および当日午前実施され、往復差はそれぞれ-0.9, +4.3, +4.8 mmであった。

り大きく超えており、ランダムに得られた値としては「異常」である。問題のデータが異常であるとすると、図4-1に示されている最小値(-4.1 mm)も異常値となる。Sato (1977) などが指摘したように、地震の前に複数の区間で「異常値」が観測されたこと、現地で coseismic な地殻変動があったことなどから、直前に急激な傾動があった可能性は相当あると思われる。しかし、問題の値は、正規分布の最大および2番目の値としてはやや大きすぎる程度であり、統計的に特に大きな「異常値」ではない。また、地震当日は強い西風が吹いており、水準儀の調整、および3 mの標尺を底盤の突起の上に静かに乗せ垂直に静止させることはかなり困難な作業であったと推測される。このような悪い気象条件の下では、制限(3 mm)を越えるような大きな往復差が生じる可能性は通常の場合(1割弱、佐藤(1970))より高いであろう。筆者の経験では、大きな往復差の出現はランダムではなく、測器の調子や観測者の体調が悪くなると、連続に現れることがよくある。さらに、前兆発生のメカニズムを考えると、現地が震央からあまりにも遠く離れており、地震活動も報告されていないのに大きな傾動が生じたことへの説明が容易でないように思える。以上のようなことから、専門家による貴重な測定データであり、何かの「異常」があった公算が高いが、前兆としての評価は2とした。

直前の潮位異常としては、目視によるものがいくつかある。鰯ヶ沢地震(1793)と男鹿地震(1939)は、それぞれ佐藤(1980)と今村遺稿(那須, 1977)によって根拠の薄いことが明らかにされており、前兆としての評価も低い。佐渡地震(1802)の場合は双子地震で、大きな海岸隆起の後が残っている(太田ほか, 1976)。前の強震に伴って土地の隆起があったとすれば、約4時間後に発生した大きな地震の“前兆的地殻変動”となる。浜田地震(1872)は、震後40年も経て調査されたものであり、本震の津波を誤認した恐れがある。しかし、いくつかの前震が発生しており、1975年の北海道東方沖地震のように、震度は小さいが何らかの地殻変動や津波を伴うものがその中に含まれていた可能性も否定できない。一方、北丹後地震(1927)は地震直後の現地調査で証言が得られ、複数の報告(今村, 1928; 田中館, 1927など)に潮位の異常低下や鳴動、積雪の亀裂が記録されているが、今村遺稿(那須, 1977)によると、『地震前に何か海水の異常を気づかなかったか』という問いに対して得られた証言であり、注意を要する。当日の気圧が非常に高かったことから、潮位が低かったことは事実には違いないであろうが、誇大な証言ではなく、実際に何尺にも達する前兆的な地殻変動が実在したかどうか疑問が残った。一方、検潮儀によるものとしては、南海地震(1946)の約48時間前から土佐清水の潮位が細島と比べほぼ直線的に低下した例がある(Sato, 1977)。変化量は15 cm程度で特に大きいわけではないが、地震前38日間には類似の変化パターンは見られない現象である(佐藤, 1982)。周辺で地下水の異常も多く報告されており、前兆的地殻変動の可能性はあろう。以上のことから佐渡地震、浜田地震、北丹後地震および南海地震の直前に見られた潮位低下の評価を2とした。東南海地震直前の急速な水準変動が事実であれば、明瞭な地震活動がなくても顕著な地殻の短期変動がありうることになり、地震直前の異常

な潮位低下なども前兆としての評価は高くなる。しかし、短期的な前兆、例えば北丹後地震前の潮位低下の場合は、その現象のメカニズムが推定できないことと同時に、類似の現象が信頼できる測器（検潮儀）で観測されることがないので、実在したかどうかたえず疑問が残る。一方、体験談やごく少数の観測によって得られたものを除くと、過去の前兆のかなりの部分が欠落してしまうので、根拠があいまいなものであっても、適正な評価をしながら地震予知に利用することが適当であろう。

検潮儀による観測データに見られる中期の前兆的現象としては、関東地震（1923）や東南海地震の震源地周辺における数年前からの潮位低下が注目されたことがあるが、Tsumura（1970）などの研究から黒潮大蛇行の消滅によるものと考えられる。筆者（岡田，1982）は海況変動に伴う潮位低下が大地震発生の引金となり得ると考えているが、このような考え方は一般的でないので、海況変動による潮位低下は地震前兆としての評価を3と低くした。海況、気象の影響を除くために、潮位差がよく用いられる。新潟地震の数年前から柏崎・鼠ヶ関の潮位差が大きく（鼠ヶ関の隆起）なっている（Yamaguti, 1965）。地震前の観測期間が短いことや、通常の変動幅を多少上回った程度であり、あまり関心をひかなかったようである。しかし、図4-2に示すように、同様な変化が日本海中部地震（1983）の前に鼠ヶ関・深浦の潮位差で現れており（地震予知振興会，1984）、注目する必要がある。後者の場合は水準測量でも検潮所周辺の隆起（能代を不動として）が認められており、地震前の地殻変動によるものと考えられる（地震予知総合研究振興会，1984）。

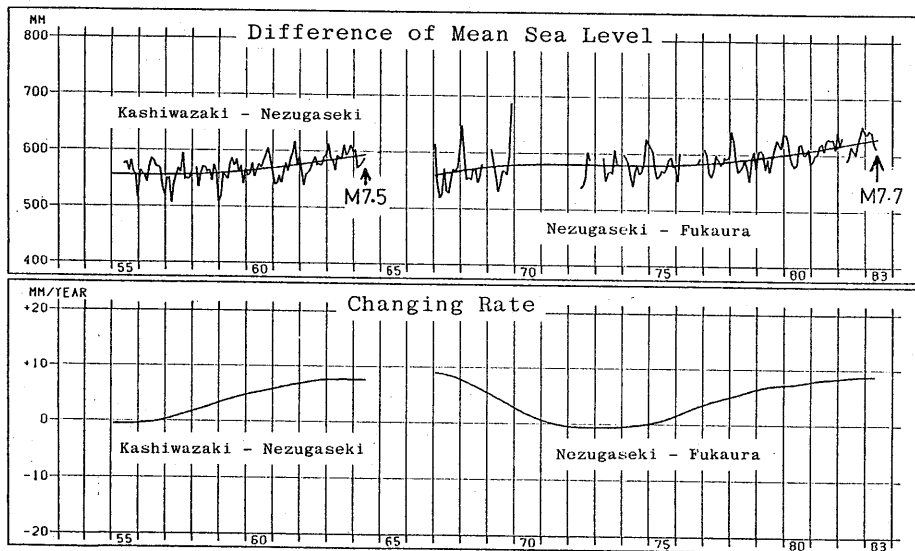


図4-2 新潟地震および日本海中部地震前の月平均潮位差。前半の部分は柏崎・鼠ヶ関の潮位差。後半の部分は鼠ヶ関・深浦の潮位差で、1969—72年は深浦検潮所の欠測。上段の平滑曲線はABICを用いて計算したもので、下段の変動速度は平滑曲線から求めてある。

関東地震前の油壺のように、大地震の前に潮位の上昇傾向が長期間にわたって続くことがよくある。これは海洋プレートの潜り込みに伴う地殻変動によるものであり、大地震発生と関係していることは間違いない。このような現象は単に歪エネルギーの長期的で定常的な蓄積を示すだけであり、通常“前兆”と呼ばないのではないかと指摘を何人かから受けた。しかし、長期的変化がどこでも見られるわけではないし、一定の速さで進んでいるわけでもない。従って、この種の現象は、短期予知には役立たないが、地震の長期予知を検討するうえで十分参考になると考え、地震の前兆として扱った。因果関係の存在は明白であり、前兆としての評価は1と高くした。

中期的な前兆についても、発生機構や法則性が解明されていると、検出が容易になる。Wyssは一連の論文(1975, 1976 a, 1976 b)で、ダイラタンシーモデルによって地震前に観測されたいくつかの潮位変化を地震前兆として説明が可能であることを示した。しかし、潮位または潮位差の変動が小さいので海況変動の影響の公算もある。藤井(1974)は、地震前後の一連の地殻変動過程を各段階(または各相)に区分したモデルを立て、いくつかの地震について前兆地殻変動(β 相)の期間を推定している。一定のモデルまたは法則性を仮定して資料を解析すると、細かい前兆まで見ることがよくあるが、その正否はモデルがどの程度成り立つかに強く依存する。現段階では、ダイラタンシーモデルや藤井のモデルが一般的に受け入れられているとは思えないので、それらのモデルはあまり考慮せずに評価した。将来モデルが正しいことがはっきりすれば、指摘された現象の評価も高くなる。

これまでにデータベース化した前兆らしき現象は、測地測量が24例、潮位変動が27例である。このうち1の評価はプレート運動による岬や海岸の沈降を示す長期(30年以上)の潮位上昇(4例)だけである。評価2は33例であるが、そのうち比較的優れたものが7例、中間的なものが13例、比較的劣るものが13例である。比較的優れたものと評価した例はいずれも数年以上の変動である。評価3は残り14例であるが、潮位変動に関するものが多い。実用的な地震予知に有益な短期変動では、肯定的な前兆現象が見いだせず、中間的または否定的なものばかりであった。

測地測量および検潮は長い歴史があり、地殻変動の監視には重要な要素であるが、地震予知に利用するにはいくつか難点が残されている。測器の経年変化の問題が少ないので、日本海中部地震の前に見られたような中・長期的前兆を検出する手段として大変有効であるが、最近の傾斜観測のように、連続かつ高感度で観測することができず、短期的前兆を検出する手段としては劣っている。測量業務は国土地理院に一元化されており、観測回数やデータ処理についてコメントする立場にない。検潮業務は種々の機関で実施しているが、主要な検潮所の月平均潮位は海岸昇降検知センターに集められ、関係機関および関係者に配付されている。月平均潮位だけでも中・長期変動の解析には十分役立つが、短期の前兆を検出するためには毎時潮位が適しており、データ収集及び解析方法を工夫する必要がある。特に、気象・海象の影響を即時に細かく見積り除去することが望まれる。その手法は過去の前兆的变化の解析にも応用でき、前兆ファイルの信頼性を

高めるのに役立つであろう。また、今後は一定基準以上の地震すべてについて、測量や検潮のデータの有無を調べ、結果を系統的に解析・整理することが必要であろう。(岡田正実)

参 考 文 献

- 檀原 毅, 1973: 新潟地震前・時・後の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **9**, 93-95.
- 藤井陽一郎, 1974: 地震発生前の異常地殻変動継続時間とマグニチュードとの関係, 地震II, **27**, 197-214.
- 藤井陽一郎, 1982: 1964年新潟地震の前兆性地殻変動の信頼性について, 地震II, **35**, 626-629.
- 今村明恒, 1928: 丹後大地震調査報告, 地震研究所彙報, **4**, 179-202.
- 地震予知総合研究振興会, 1984: 「日本海中部地震の前兆現象ならびに歴史地震・津波に関する研究」報告書, 130 pp.
- 越山敏郎, 1986: 国土地理院広報, 100号別冊, 7-8.
- 茂木清夫, 1982a: 1944年東南海地震直前の前兆的地殻変動の時間的变化, 地震II, **35**, 145-148.
- 茂木清夫, 1982b: 新潟地震前水準測量結果についての一解釈, 地震II, **35**, 478-482.
- 那須信治 (編), 1977: 大地震の前兆に関する資料——今村明恒博士遺稿——, 古今書院, 169 pp.
- 岡田正実, 1982: 日本付近の大地震発生の季節変動と地域性, 地震II, **35**, 53-64.
- 太田陽子, 松田時彦, 長沼和雄, 1976: 佐渡小木地震(1802年)による土地隆起量の分布とその意義, 地震II, **29**, 55-70.
- 力武常次, 1986: 地震前兆現象——予知のためのデータベース, 東京大学出版会, 227 pp.
- 佐藤裕, 1970: 1944年の東南海地震に伴う地殻変動, 測地学会誌, **15**, 177-180.
- Sato, H., 1977: Some precursors prior to recent great earthquakes along the Nankai trough, *J. Phys. Earth*, **25**, Suppl., S115-S121.
- 佐藤 裕, 1982: 1946年南海道地震前の土佐清水における潮位変化について, 地震II, **35**, 623-626.
- 田中館秀三, 1927: 奥丹後地震の際海岸の昇降運動(其一), 地学雑誌, **465**, 617-627.
- Tsumura, K., 1970: Investigation of mean sea level and its variation along the coast of Japan (Part 2) ——Changes in ground level at various places in Japan as deduced from tidal data and earthquake prediction——, *J. Geodetic Soc. Japan*, **16**, 239-275.
- Tsubokawa, I., Y. Ogawa, and T. Hayashi, 1964: Crustal movements before and after the Niigata earthquake, *J. Geodetic Soc. Japan*, **10**, 165-171.
- Wyss, M., 1975: A search for precursors to the Sitka, 1972, earthquake: sea level, magnetic field, and P-residuals, *Pageoph*, **113**, 297-309.
- Wyss, M., 1976a: Local sea level changes before and after the Hyuganada, Japan, earthquakes of 1961 and 1968, *J. Geophys. Res.*, **81**, 5315-5321.
- Wyss, M., 1976b: Local changes of sea level before large earthquakes in south America, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, **66**, 903-914.
- Yamaguti, S., 1965: On the changes in the heights of mean sea-levels, before and after the great Niigata earthquake on June 16, 1964, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **43**, 167-172.