

§ 1. はじめに：

大阪府の北部、高槻市・阿武山（標高 281.1m）の頂上に近い山腹に京都大学防災研究所・阿武山観測所があり、高さ約 30m の白亜の殿堂（塔）が聳えています。

約 90 年前、当時の最先端建築技術によって建設され、2007 年に大阪府の近代化遺産報告書に記載されたこの立派な建物は、拙宅から徒歩約 5 分の所にあり、小生は近所の誼で阿武山観測所サポーター会に入会してボランティア活動を行っています。その活動を通じて、この 3 年ほどの間に学んだ知識（入門的地震学や地震学の歴史等）を、当該施設の見学にご来場頂けない（遠距離にお住まいの）方々の為に、少しでもご参考になればと思い、この拙文をまとめました。

§ 2. 京都大学・阿武山地震観測所の歴史（高槻市奈佐原 944、標高 218m）：

京都大学・阿武山地震観測所は、当時理学部の志田教授が中心となって、約 3 万坪の土地を地元から 300 年契約で借りて、原奨学金の援助で、通称「美人山」とも言われる阿武山山頂の近くに、昭和 5 年（1930 年）に着工し、昭和 8 年に完成したと言われる立派な施設である。山麓からの道路造成工事に始まり、3 年間という長い工期から考えて、難工事であった事が想像される。

世界第 1 級の地震観測所がこの地に建てられた理由は、昭和 2 年（1927）に発生したマグニチュード 7.3、犠牲者 3,000 人に及んだ奥丹後地震に端を発した様だ。

阿武山の山麓には活断層として有馬・高槻断層帯が通っており、観測の場所としてはうってつけの場所であった。観測所内には、当時最新の機械式ドイツ製・ウイーヘルト地震計、ロシア製・ガリチン地震計等の導入と、佐々式大震計の開発等によって定常観測が行われた。1960 年代からは世界標準地震計網に用いられているアメリカ製プレス・ユースング型長周期地震計による観測も開始され、世界の第一級地震観測所として地震現象の解明に大きく貢献した。1975 年からは近畿北部に展開した観測室の記録を定常的にオンライン収録する微小地震観測システムが稼働し、リアルタイム自動処理も行われるようになった。

阿武山観測所は正に西日本における地震研究の中心拠点としての役割を長年にわたり果たして、世界の地震研究をリードしてきたのである。

1990 年、京大防災研究所との組織統合を経て、1995 年 3 月には阿武山観測所の主な観測装置と人員は宇治キャンパスに移転され、最盛期の所属人員約 20 名が 1~2 名となり、一時は閉鎖も検討された。しかし、貴重な地震計や過去の観測データが多数保管されており、地震学の歩みを語る上で欠かせない価値がある事より、現在の飯尾観測所長が就任（2009 年）し、歴史的価値のある該施設を新しく地震学を学ぶ機能を加えた、阿武山観測所の再生計画が始まった。それが「満点計画」と呼ばれる観測研究基地としての活用と、歴史的地震計等の展示を軸とした地震学や防災研究教育の為に「サイエンスミュージアム活動」である。

2012 年からは阿武山サポーターと呼ばれる市民ボランティアの参画によりアウトリーチ活動を強化すると共に、オープンサイエンスの実践の場として一層の発展を遂げてきた。

2021 年 4 月、これまで大学の研究の一部、もしくは任意団体としての活動として取り組んできた「地震サイエンスミュージアム活動」を、京都大学から独立した組織として、より精力的に継続していく為に、NPO 法人「阿武山地震・防災サイエンスミュージアム」を設立して現在に至っている。

定期的開催されている見学会（一般見学会は毎月 2 回、団体見学会は随時）に参加すれ

ば、地震学の基礎を学び、地震観測の歴史をたどる事が出来る。また、観測所屋上からの大阪平野の眺望が素晴らしく、晴れた日は望遠鏡で、あべのハルカスの左下に大阪城が見える。

尚、地震観測所の見学会や講演会を支援する阿武山サポーターの役割は、地震学・防災学を専門に研究されている先生方と一般市民の間に存在する壁を取り払い結びつける役割を担う事によって「学者、市民、サポーター」が三位一体となって活動する『市民参画型の防災活動』を推進することである。即ち、専門家と非専門家の中に存在する壁を取り払う『オープンサイエンス』と呼ばれる活動の一端を担う事によって、防災・減災に寄与する事を目指してボランティア活動している訳である。

§ 3. 地震学の始まり：

近代地震学は 1880 年（明治 13 年）横浜地震をきっかけに、東大教授として日本に招聘されていた英国の物理学者「ジョン・ミルン」を中心に日本で始まった。

江戸時代、日本は鎖国政策をとっていたが、いざ鎖国を解いてみると自然科学分野で欧米に遅れている事に明治政府は気が付いた。その遅れを取り戻す為に欧米から学者や研究者等、外国人のお雇い教師を多数招聘したのである。招かれた外国人教師は 2,700 人に及んだと言われているが、その中には「少年よ 大志を抱け」で有名な札幌農学校のウィリアム・クラーク博士や、ペンネーム小泉八雲で怪談等を書いたラフカディオ・ハーン等が居る。ジョン・ミルンもその中の一人であった。ヨーロッパでは地震が無い為、M5.5 の横浜地震に大変驚き、Jミルンを中心に世界初の地震学会が設立されて地震学が始まった。Jミルンは 19 年間日本に滞留し、日本人の妻をめぐり、後進の育成を行いながら実用的な地震計を開発した。Jミルンは地震学の嚆矢に貢献した事により勲三等旭日章を受章している。小生が関係する住友・別子銅山では明治 7 年に招聘されたフランスの鉱山学者・ルイ・クロード・ブルーノ・ラロック（月給 600 ドル）が、別子銅山の近代化に貢献したと言われている。

尚、蛇足ながら、日本は自然科学分野以外の芸術・文化の分野では決して遅れていた訳でなく、むしろ欧米より進んでいたと言って良いであろう。例えば、古典で言えば、万葉集、源氏物語、枕草子、古今和歌集、徒然草、方丈記、古事記、日本書紀、伊勢物語、蜻蛉日記、正法眼蔵、等々、この時代に、これほど優れた数多くの古典を持っていた国は欧米には類をみないであろう。また、歌舞伎、浄瑠璃、能、茶道、華道、書道、剣道、柔道、相撲、浮世絵、版画、襖絵、和歌、俳句等、日本独自の芸術文化の発展は目覚ましいものがあった。日本人は春夏秋冬という四季のうつろいと、山川草木、花鳥風月という豊かな自然に育まれた鋭い感性を有し、その感性によってもたらされた芸術・文化が生まれた一方で、地震・台風・火事・疫病等、多くの災厄に苦しめられた事によって磨かれた「無常観と感性」が、高い精神性と哲学性を有する芸術・文化の華を開かせたのではないだろうか？

§ 4. 日本人地震学者の活躍：

明治中期のなると、日本からも世界に通じる著名な地震学者が出てきた。一人は「大森房吉教授」（1868～1923）である。大森東大教授は Jミルンに師事し、世界中の地震データを蓄積・研究、その業績により大森地震学と呼ばれるほどの世界的権威者となった。大森教授の業績は、

- ① 1898年（明治31年）に、長周期、高倍率、高感度、連続記録が可能な大森式地震計を開発した。従来の地震計は地震が発生してから記録を開始していた為、初動記録がとれなかった。大森式地震計によって初動記録が取れるようになった為、下記②の成果が得られた。
- ② 縦揺れの地震波であるP波の到着時間と、横揺れのS波の到着時間を正確に読み取る事が可能となり、P波が到達したあと、S波が到達するまでの「初期微動継続時間」を使って震源迄の距離を算出する大森公式（下記式）を発見した。

「震源と観測点の距離」 R (km) = 「初期微動時間」 T (秒) × 「大森係数」

大森係数は、P波の速度を秒速8km、S波の速度を秒速4kmとすれば、8となる。

- ③ 本震の発生後経過時間の逆数に比例して余震の回数が減る「余震の大森公式」を発見した。
- ④ 多くの古文書の調査を行い、統計的に地震活動を把握・解析した。
大森先生は、これらの業績によって、日本人初のノーベル賞候補になったが、何故か受賞に恵じなかったという逸話がある。

もう一人の著名な地震学者は、明治、大正、昭和を通じて活躍された「志田順（トシ）教授」（1876～1936）で、阿武山観測所の初代所長でもある。

志田先生は東大・物理学科を卒業し、1909年（明治42年）京都帝国大学理工科大学助教授として京都に着任した。志田先生は京都上賀茂観測所に於いて、大森教授がドイツから調達したが未使用だった「レボイル・パシュウイツ傾斜計」や「ウイーヘルト地震計」を借用して観測を行い、下記の様な多くの成果をあげた。

- ① 地球潮汐による地球の変形の発見（1912年、大正1年）：月と太陽の引力により、地球が上下方向に変形している事は知られていたが、水平方向にも伸縮している事を、レボイル・パシュウイツ傾斜計を使って発見した。
- ② 地震波初動の『4象限押し引き分布』の発見（1917年、大正6年）：地震波の初動・P波が岩盤を引き延ばす方向、つまり震源に引かれる方向（波形は下向き）で始まったか、岩盤を圧縮する方向、つまり震源から押される方向（波形は上向き）で始まったかを、各観測点ごとに地図上にプロットすると、4つの象限に分かれる事を発見した。その結果、現在で言う断層の位置（岩盤の亀裂の向き）や震央を推定できる事を示した（当時は断層という概念は無かった）。この方法で1923年の関東大震災の震源地をほぼ正確に割り出したのである。
- ③ 深発地震の発見（1926年、昭和1年）：当時、地下300km以上の深い所では岩盤圧力が高い為、地震は発生しないと考えられていたが、観測結果から更に深い所でも発生している事を発見。深発地震の発見は、プレートテクトニクス（プレート変動論）の研究につながる重要な発見となった。

【プレートテクトニクス】とは：地球は厚さ数10kmの岩盤（プレート）10数枚で覆われているが、そのプレートは別々の方向に年間3～8cmずつ移動している。そのプレート境界部でおこる様々な変動や歪の蓄積によって地震や火山が発生する地学現象を統一的に解釈しようとする考え方である。日本近海では、フィリピン海プレート、太平洋プレート、ユーラシアプレート、北米プレートが存在する。

【南海トラフ】とは：フィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界にある深海底の溝状の地形の事である。

尚、志田教授は 1934 年、観測所の裏山で阿武山古墳（大化の改新の立役者・藤原鎌足のお墓と言われている）を発見した事でも有名である。また、1929 年（昭和 4 年）地球物理学及び地震学上に顕著な功績を挙げたという理由で（業績を評価され）学士院恩賜賞を受賞している。志田教授は大森地震学からは距離を置き、地球物理学的見地から数学的理論を展開した。

話しは飛んで、1960 年代には、震源から出る地震波の数式表現が完成し、地震波記録から、地震の大きさ「地震モーメント」や断層運動の向きが推定できる様になった。この時期、世界中の研究者が次々と成果をあげる中で、2 人の日本人「安芸敬一教授」と「金森博雄教授」が特に重要な成果をもたらした。2 人は東大教授からアメリカの大学へ移籍して重要な研究成果を出すと共に、多くの後進研究者を育成した。地震モーメントを定義した安芸教授は 1980 年に共同執筆で「定量的地震学」という記念碑的教科書を刊行した。

モーメントマグニチュード、津波地震等を定義した金森教授は、更に個々の地震に複雑な破壊プロセスが含まれる事を示し、震源プロセスの詳細な研究へと道を開いた。

金森教授は、日本地震学会賞等多数の賞を受章し、文化功労者にも選ばれている。

国際的な広帯地震観測網と定量的地震学の知識により、地震波等のデータから個々の地震プロセスが精密に分かる様になってきた。1977 年以降ハーバード大学が、世界で起こる大きめの地震（M5 以上）について、発生後まもなく位置と時刻、大きさ、断層の向きとすべりの方向等を自動計算して世界に発信してきた。様々な分析手法が開発され、地震が複雑で多様な現象である事が明らかになってきた。そうなると次の問題は、何がこの複雑さと多様性を生み出すのか、という事になる。

§ 5. 阿武山観測所に展示してある歴史的観測機器：

- (1) **ウィーヘルト地震計**：1904 年ドイツで開発され、当時としては世界最高性能の精密観測機器として世界中で広く用いられた。振り子の重さは 1 トン、機械式で電気は一切使用してない。水平動の固有周期は 10 秒、倍率は 170 倍（1mm の揺れを 17cm の波形で記録）である。阿武山観測所が建設された時、最初に設置された地震計で、1932 年から 60 年間使用され、その間の観測データが 15 万枚保管されている。尚、志田教授は上賀茂観測所時代に、この地震計を使って深発地震の存在を発見した由緒ある地震計でもある。
- (2) **大森式地震計**：1898 年（明治 31 年）に、振り子の質量 10kg、長周期（10 秒）、高倍率（20 倍）、高感度、連続記録が可能な大森式地震計を開発した。従来の地震計は地震が発生してから記録を開始していた為、初動記録がとれなかった。大森式地震計によって初動記録が取れるようになった。遠く離れたアラスカで起きた遠隔地地震を捉える事に成功し、大森の名前は一躍世界に知られる事になった。
- (3) **佐々式大震計**：世界にたった 1 台、阿武山観測所にしかない地震計で、1934 年、阿武山観測所第 2 代所長の佐々憲三教授が開発した貴重な地震計である。

普通の地震計は、小さな揺れを感知できる様に高感度に設計されるが、大きな揺れがきた時に針が記録面を振り切ってしまうので記録を採る事が出来ない。

大きな揺れを記録する為に、わざと感度を低くして振り子の周期を長くしているのが特徴である（固有周期 25 秒、倍率 1.1 倍）。観測開始から 60 年の間には幾度も大きな揺れの地震の記録に成功した。この頃は長周期、低倍率の地震計は少なかったため、1943 年の鳥取地震（M7.2）や 1946 年の福井地震（M7.0）の大きな揺れの完全な記録は世界的にも有名である。この地震計の記録から、鳥取地震の断層のずれる速さが、秒速約 1m であるという知見が得られた。

(4) ガリチン地震計：1910 年、ロシアのポリス・ガリチンが開発した世界初の電磁式地震計である。阿武山観測所では 1938 年から 1967 年迄約 30 年間使用された。それまでの機械式地震計は、記録用紙に針で直接記録するため、針と紙の摩擦があったので微小な揺れを捉えるための感度を上げる事が困難であった。電磁式地震計は磁界の中を振り子に付けたコイルが動くと電流が発生する電磁誘導の原理を応用したもので、コイルと磁石の間に摩擦が無い為、非常に小さな揺れを記録できる（固有周期 10~20 秒、倍率 1,000~2,000）。現在の殆どの地震計は電磁式なので、ガリチン地震計は地震計のご先祖様ともいえる。

(5) プレス・ユーイング地震計：1963 年、アメリカ、フランク・プレス/モーリス・ユーイングが開発した電磁式地震計である（固有周期 15 秒、倍率 600~800）。全世界で同じ計測器を使った世界標準地震観測網を造ろうと呼び掛けたアメリカから世界 125 か所に配られた地震計である。日本にも 2 箇所を設置された。阿武山観測所では、この観測網とは独立に地震計を設置した。当初は冷戦時代に東側の核実験監視も目的の一つであったが、この観測網によって得られたデータは、地球の内部構造や地震発生メカニズムの解明、プレートテクトニクスの実証等につながった。

(6) PK110：1953 年頃、日本・勝島製作所が開発した電磁式地震計である。人が持ち運び可能で、長期にわたり据置きでの使用に耐える高感度地震計として完成の域に達したものと言える。この機器が開発されてから 70 年経つが、今も現役で阿武山観測所の他、京大防災研究所が近畿に展開している多くの定常地震観測網で活躍している。北摂、丹波などで日々 10 数個発生する微小地震（人が感じる事の無い M3 以下の小さな地震）を捉えている（固有周期 1 秒、感度 3.0V/kine）。

(7) L4C-3D：1950 年頃、米国・マーク・プロダクツ社が開発した電磁式地震計。

地震観測は研究用だけでなく、石油・天然ガスなどを探る為の地下構造の探査などの目的でも行われる。短期間に多数の地震計を高密度で設置する必要があり、ポータブルな小型地震計が多数開発される様になったが、その一つである。

これまでは東西、南北、上下の 3 方向の揺れを個別の機器で観測してきたが、3 成分すべてを 1 つの機器に収めた「3 成分一体、小型軽量型」で、且つ定常観測にも使える「据え置き型、高性能」を両立させた地震計の代表格である。京大の観測網では約 30 台が今も活躍している（固有周期 1.0 秒、感度 1.8V/kine）。

(8) 満点地震計 (KVS-300) : 2008 年、京大防災研究所 (飯尾教授) が中心となって共同開発した地震計で、同等の性能のものとしては世界最小、最軽量 (重さ 1.5kg) で、手のひらに乗る大きさに東西、南北、上下の 3 成分を入れ込む事に成功した。乾電池 24 本で 6 か月以上連続して地震データをメモリカードに収録できる超低消費電力設計を誇っている (固有周期 0.5 秒、感度 0.8V/kine)。

小型軽量化により、人里離れた道路のない山中や冬季に雪に埋まる場所など、どのような場所にも簡単に設置でき、緻密な観測網を実現可能で、「満点計画」など多くの研究で使われている。

【満点計画】とは：自主開発した小型の地震計を、高密度で多点設置する事により、地震発生帯の地下構造や応力場を、従来の観測よりも格段に高い解像度で調べる計画である。「1 万点置くのも夢でない」という希望も込めて「満点計画」と名付けられた。現在、ニュージーランドなどで数十台が観測中である。

(9) フーコーの振り子：フランスのレオン・フーコーが考案した振り子で、地球の自転を調べる装置である。1851 年、フーコーがパリのパンテオンで天井から長さ 67m の鉄線に 28kg の鉄球を吊るした振り子を振らせて公開実験し、初めて地球の自転の証明に成功した。この事にちなんで「フーコーの振り子」と呼ぶ。

阿武山観測所は塔のてっぺんから長さ 30m のワイヤを垂らし、周期約 10 秒で揺れ、地球の自転に伴って振り子の振動面が回転する。

振り子の振動面の振れは、北極で 24 時間に 360°、赤道では回転は発生しない。

緯度 θ に於いて、振動面の回転は 1 日あたり $360^\circ \sin \theta$ 、1 時間あたり $15^\circ \sin \theta$ となる。

尚、周期は紐の長さの $\sqrt{\quad}$ に比例し、単振り子の周期を求める公式は下記の通り。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad T : \text{周期、} l : \text{ヒモの長さ、} g : \text{重力加速度}$$

(10) レボイル・パシュウイツ傾斜計：1896 年ドイツで開発され、上賀茂観測所で 1909 ~1939 年、志田教授によって使用されたのは前述の通りである。ツエルナー吊り方式の水平振り子型傾斜計が多数製作され、土地傾斜観測の標準となっていく嚆矢となった。1889 年 4 月 17 日、東京近辺で強い地震が発生し、約 8,000km 離れたドイツの 2 箇所で、該傾斜計が垂直軸に強い揺れを記録、この遠隔地記録は地震学が地域的な科学から世界的科学へ変化した事を示す出来事となった。

§ 6. 基礎地震学を学んで得た知見：

(1) 地震予知は可能か？

近い将来に起こる地震の場所と大きさを精度よく予知する事は、現時点では不可能とされている。地震について理解が進んだ事によって、地震予知の困難さもよくわかるようになってきたという事である。

東日本大震災は西暦 869 年に起きた貞観地震 (M8.4) の再来で、1,000 年に一度プレートが跳ね上がる巨大地震 (断層がずれた面積 = 500km × 200km) であったが、2011

年 3 月という時期を特定して、M9 の巨大地震が発生すると考えていた地震学者は、世界中に一人も居なかったという。

地下の岩盤は多様な種類の岩石で形成されており、強度が皆異なっている。破壊すべりの起こる断層は 1 枚の平面ではなく、屈曲したり、分岐したり、途切れたり複雑な構造をしている。破壊すべりは単純な構造に沿って広がり易く、複雑な構造では止まり易いと考えられる。更に地下深部の亀裂・断層や、水分など、沢山の因子を含む極めて複雑な系の解析が必要となる。それらの全てが判明しないと地震予知は出来ないが、実際にはまだ僅かしか分かっていない。これだけ科学が進歩したにもかかわらず「起こってみないと分からない」のが実情と言うことである。

但し、巨大地震は周期的に起きる傾向があるので、この周期性を利用して発生確率を算出する事は可能である。この様にして政府の地震調査委員会は、日本列島でこれから起きる可能性のある地震の発生予測を公表している。

地震調査委員会は 2022 年 1 月、南海トラフで今後 40 年以内に M8.0~9.0 の巨大地震が発生する確率を、前年までの「80~90%」から「90%程度」に引き上げた。同様に 30 年以内では「70~80%」の確率で発生すると予測している。正確な予知は出来ないが、おおまかな予測は出来るという事である。

(2) 緊急地震速報とは：

地震の予知は大変難しいので、現在は地震が起きてから出来るだけ早く伝えて、災害を減らすという方法がとられている。地震が発生すると、震源から揺れが波となって地下深く（地表面を伝わるのではない）を伝わっていく。

地震波には P 波と S 波があり、P 波の方が S 波より速く伝わる性質がある。一方強い揺れによる被害は、遅れて伝わってくる破壊力の強い S 波である。このため、地震波の伝わる速度の差を利用して、先に伝わる P 波を検知した段階で、S 波が伝わってくる前に危険が迫っている事を知らせる事が可能になる。

緊急地震速報には、全国約 690 箇所の気象庁の地震計・震度計に加え、国立研究開発法人 防災科学技術研究所の地震観測網（全国約 1,000 箇所）を利用している。緊急地震速報では、震源に近い少ない観測点のデータから震源やマグニチュード(M)を迅速かつ精度よく推定する必要があるが、コンピューターの性能向上により瞬時に計算が出来るようになった事その他、1 観測点の P 波の観測データから震源や M を推定する手法などを活用する事で可能となった。

(3) 小地震の多発は、大地震の代わりになり得るか？

日本列島は大小様々な地震が 5 分に 1 回発生しているという。そこで小生の様な素人は小地震の多発は断層に蓄積された歪エネルギーの解放に寄与し、大地震の発生を少なくしてくれるので歓迎すべき事と思うのだが、その考えは間違っている。即ち、例えば、M2（マグニチュードを M で表す）の小地震のエネルギーを基準にとると、M が 1 大きくなるとエネルギーは 30 倍になるので、M7 のエ

エネルギーは M2 に比べて $30 \times 30 \times 30 \times 30 \times 30 = 24,300,000$ 倍となる。
同じ期間・場所で M2 の地震を、この様に天文学的な数での地震発生を期待する事は出来ないと言ってよい。

(4) グーテンベルグ・リヒターの法則とは (GR 則と略記) :

GR 則はマグニチュードが 1 小さくなると、地震発生 の 頻度が 10 倍になるという法則である。M8 より大きな巨大地震が世界のどこかで年に 1 回起こり、M7 程度の地震は年 10 回、M6 だと年 100 回発生するという法則でもある。

この法則を日本に適用してみると、日本周辺では世界の地震の 1~2 割発生するので、毎年 M7 の地震が 1 回発生する事が予想され、M6 が年 10 回、M5 が年 100 回、M4 が年 1,000 回、M3 が年 10,000 回、M2 が年 100,000 回発生する事となり、気象庁が毎年検出している地震数とほぼ一致している。

(5) 日本列島の地殻変動 :

日本列島は地震の有無にかかわらず日常的に変形しており、地震の時は特に激しく変形する。故に、列島の地殻変動を観測すると地震についての貴重な情報が得られる。古くは三角測量、水準測量を行っていたが、大変な労力と時間がかかっていた。1990 年前後に技術革命が起り、人工衛星を用いた測地技術の開発 (GPS) によって地上の任意の点の位置が極めて精度よく短時間に測定できる様になった。阪神淡路大震災後に全国的に国土地理院の地殻変動観測網・GEONET (1,300 点) が設置され、地震メカニズムの解明につながる地殻の変形が手に取るようにわかる様になっている。日本列島は概ね東から西へ毎年数 cm 動いているが、巨大地震が発生した後、東北地域は方向転換が起り、西から東に大きく動いている。

(6) 地盤の硬さ軟らかさと、地震動との関係は? :

硬い岩盤と軟らかい堆積層とではどちらが強く揺れるかという問題である。地震波の伝播速度については、硬い岩盤は揺れを遠くまで速く伝え、軟らかい堆積層は揺れを伝えにくい。一方、揺れの大きさは堆積層の方が大きい。破壊力の強い S 波で比較すると、軟らかい堆積層の場合は、硬い岩盤に比べて振幅で 2~3 倍大きくなる。関東大震災の際、東大キャンパスでは震度 5 程度であったのが、東京ドーム周辺では震度 7 の揺れに襲われたという。2005 年に内閣府が日本全国について、「表層地盤の揺れやすさマップ」を作成した。

(7) 津波とは :

津波は地震によって海底が変形し、海水が持ち上げられる事によって発生する。地震直後の海面は瞬時に、変形した海底とほぼ同じ形になり、その後、元に戻る力が働いて津波になる。地震の破壊すべりには時間がかかるが (東北大震災の際は 2 分かかった)、海水面は瞬時に変形する。

津波を引き起こす原因は、海岸に近い火山の山体崩壊、大型隕石の突入なども原因となる。津波の速度 $= \sqrt{gh}$ で表される【 g (重力の加速度) $\times h$ (水深) の平方根】。水深が深い沖合ほど津波の速度は速く、浅い水深では遅く伝わる。 $g = 10 \text{m/s}^2$ とすれば、平均的水深 = 3700m として、波の速さは $190 \text{m/s} = 700 \text{km/hr}$ となって、飛行機並みの速さである。1960 年 5 月 23 日、世界最大のチリ地震が発生した際は、22.5 時間後に東北三陸海岸に約

6m の津波が襲来し甚大な被害をもたらした。その時の太平洋伝播の平均時速は約 750km であった。

海溝型地震や津波を直ぐ検知して、迅速、確実な情報を伝達する事により被害の軽減や避難誘導等の防災対策に寄与する目的で下記システムが開発運用されている。

【S-net】：Sea floor observation Network for Earthquakes and Tsunami along the Japan Trench。

東日本太平洋沖に設置された日本海溝海底地震津波観測網であって、令和元年より緊急地震速報に活用している。地震計や水圧系から構成される観測装置 150 点を設置、光ケーブルでデータが伝送されるシステムになっている。

【DONET】：Dense Ocean floor Network system for Earthquake and Tsunami。

南海トラフで発生する地震や津波を観測する為に海洋研究開発機構により開発され、防災科学研究所に移管された。広帯域地震計、水圧計等から構成され、51 箇所の観測点がある。観測データはリアルタイムで伝送されている。

(8) 地震（震源）の大きさを表すマグニチュード（M と略記）とは：

1935 年アメリカ人チャールズ・リヒターが定義したのは、震源から 100km 離れた場所に設置された標準地震計で測定された、変位振幅の常用対数を M とした。

その後、地震研究の進展と共に様々な M の定義が用いられてきたが、概ね、全ての M が、エネルギー（E と略記）を用いて下記の通り表す事ができる。

$$M = 2/3 \log_{10} E + \text{定数}$$

M が 1 違うとエネルギーは 30 倍違い、M が 2 違うと約 1,000 倍違う事になる。

§ 7. 巨大地震の教訓：

1995 年 1 月 17 日 5 時 46 分に、震源が明石海峡直下 15km の深さから始まった神戸淡路大震災は、破壊すべりが周囲の岩盤に次々と広がっていった。数秒かけて神戸側へ、更に淡路島方面にも広がって、既知の野島断層を破壊し、約 2m のずれを生み出し、M7.2 の巨大内陸地震になった。この断層の破壊すべりは、水平に約 50km、垂直に 20km の面を境にした水平方向のすべり運動であった。小生はその時、岡山県玉野市に単身赴任中であつたが、住居（社宅）は震度 4 で揺れたので飛び起きた。約半月後、自宅へ帰省した際、往は高松空港より空路、復は電車を用いたが、神戸周辺の電車は不通で（徒歩で通過）、神戸市内の建物の倒壊状況を直接自分の目で見て、被害の甚大さに驚いたものである。

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分、東北関東地方を巨大地震と大津波が襲い、東日本大震災という広域災害を引き起こした。この場合プレートは幅 200km、長さ 500km 動いたと言われており、阪神淡路大震災に比べて桁違いに大きい動きであった。この時小生はゴルフ場において、ゴルフが終わった 15 時頃、TV で自動車やドラム缶が津波で流されているのを見て驚いた事を覚えている。この 2 つの天災は地震多発国日本を改めて強く印象づける大災害となった。

大地震が発生したという事は、その地域に蓄積していた歪（破壊エネルギー）が解放される事を意味するので、今後当分地震は発生しないだろうと思うのが素人考えであるが、実際はその逆で、或る専門家は誘発地震（余震）による「動く大地の時代」が始まったと主張している。今回

の大地震は「寝ている子を起こしてしまった」様なもので、プレートに溜まったエネルギーは震源域を次々と広げながら今後も解放される可能性が高いという。例えば、東北沖は震源域が東北沖から南北に広がり、南に伸びれば房総半島沖、北に伸びれば三陸沖から北海道の沖合まで広がる可能性を指摘している。即ち、東日本大震災の外側の延長部で岩盤の破壊が M8 クラスで起こる可能性があるというのである。また、東海（静岡沖）、東南海（名古屋沖）、南海（紀伊半島沖）の3連動地震は東日本大震災とは別の時計で動いているが、東日本大震災によって励起されるかもしれないと懸念されている。

地震とは、他の地震によって誘発されるか、或いは、プレート運動等の目に見えない地殻変動現象によって引き起こされるかのどちらかであるというふうに、複雑な現象をシンプルに理解する考え方もできる。この考えに基づく数理モデルに、統計数理研究所の尾形良彦名誉教授が開発した ETAS モデル（1988）がある。ETAS モデルで用いるのは、

- ①すべての地震は大森法則に従って地震を誘発する。
- ② 大きな地震ほど多くの地震を誘発する。
- ③ 誘発された地震の大きさはランダムで GR 則に従う。

という極めて普遍的な法則だけであるにもかかわらず、複雑な地震活動を説明する事に成功した。尾形良彦氏は 2020 年、地震活動のデータ等に基づく様々な地震の確率予測に新しい扉を開いたという理由で、日本地震学会賞を受賞している。

地震は、特定の地震発生領域で歪エネルギーの蓄積と解放が繰り返されており、それに関連して、震源域周辺に於いて地震活動が活発化したり静穏化したりする現象が認められる。

最近、全国的に（関西も）地震が多発しているが、西日本は南海トラフ巨大地震に向けた内陸地震の活動期に入ったと言われているので油断大敵である。

§ 8. おわりに：

本稿は前約半分が観測所の見学会のセミナーとツアーの内容となっており、後半は小生が興味（関心）を持った事柄の解説となっています。地球の内部構造は複雑怪奇で、未知の世界が多い様に、地震学は奥の深い複雑で難解な学問です。この地震学を理論的・定量的に述べる能力は小生にはありませんので、表面的・定性的な記述になっており、文献を丸写しにして編集した部分もある事をご了解下さい。もっと詳しい内容をお知りになりたい方は引用文献や、日本地震学会の広報誌「ないふる」等をご覧下さい。尚、「百聞一見に如かず」でありますので、阿武山観測所の見学会にご参加頂けると理解が深まると思います。ご来場を歓迎します！

また、阿武山観測所のホームページ（下記 URL）をご覧頂くと、画像によって観測所の事がよくわかって頂けると思います。 <http://npo-abuyama.org> 以上

【引用文献】

1. 『阿武山観測所ガイドブック』 NPO 法人阿武山地震・防災サイエンスミュージアム発行、26 頁（2021 年）、阿武山観測所に於いて@500 円で販売中。
2. 『絵でわかる地震の科学』 井出 哲著、(株)講談社発行、（2018 年）
3. 『地震と火山の日本を生きのびる知恵』 鎌田浩毅著、(株)アガトリ発行（2012 年）