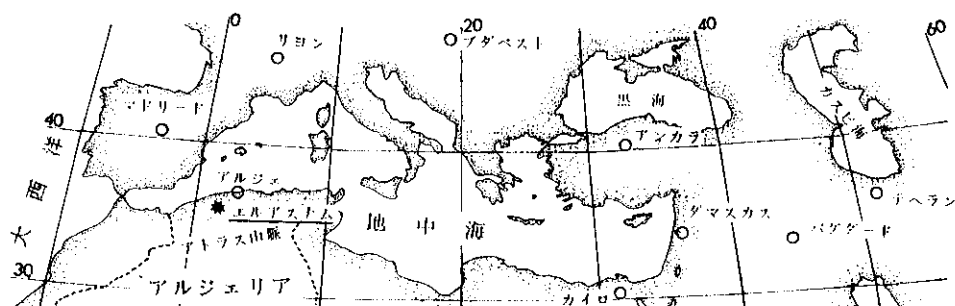


〈紹介〉 1980年エルアスナム地震の地震断層

A review: The earthquake fault of El Asnam earthquake of
Oct. 10, 1980, Algeria.

佃 栄吉*
Eikichi TSUKUDA

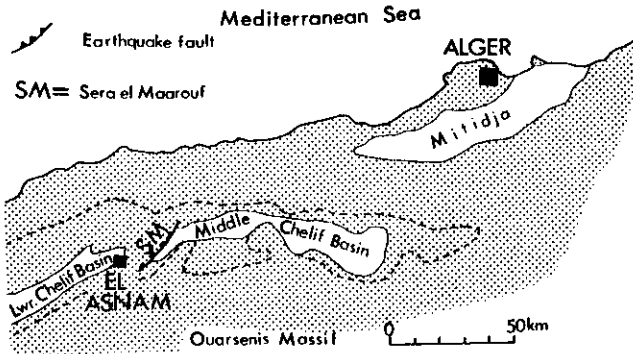


1980年10月10日12時25分(GMT)にエルアスナム(El Asnam, 旧オルレアンビル, Orleansville)の東方で発生したマグニチュード7.3の地震は、公式発表によると死者2,590人、負傷者8,252人を出すなどこの地域に大きな災害をもたらした、いわゆる直下型の地震であった。この地震は、機器観測が開始されて以来、北アフリカでは最大の地震であり、アトラス地域では1790年以来、シェリフ盆地(Chelif basin)地域では1716年以来の大きな地震であった。その上、この地震に伴ってきわめて明瞭な地震断層が出現したこともあって、フランス、イギリス、アメリカの各チームにより、組織的かつ精力的な現地調査が実施されている。フランスとアルジェリアのチームは地震後48時間もたないうちに現地へ入り、地震断層の調査と余震観測を開始している。イギリスはケンブリッジ大学とロンドン大学のグループが10日後から5週間ほど余震観測と地震断層のマッピングを行なっている。アメリカはUSGSのスタッフが25日後に現地を訪れ、約10日間断層調査を実施している。その結果として、このエルアスナム地震は西地中海地域では最もよく調べられた地震となるとともに、この地域のネオテクトニクスに関する理解がさらに一層深められることになった。ここでは彼らの報告した論文の中から、地震断層の記載を中心に紹介する。

エルアスナム地震断層

地震断層は、中新世のマールと鮮新世の砂岩層を变形させている非対称背斜の南東翼の麓に、明瞭な逆断層として出現した(第1図)。エルアスナムは、この逆断層の上盤側に位置していたために被害が大きくなったと思われ、その震度はメルカリ震度階でXにも達している⁹⁾。中新世の海成層が発達する北アルジェリアのシェリア盆地をLower Chelif BasinとMiddle Chelif Basinに分割する比較的新期の背斜褶曲の存在は知られていたが、この逆断層の存在は地震の前には認識されてはなかった。地震断層の出現によって初めてその存在が確認されたのである。シェリフ盆地を西に流下して地中海に流れをそそぐシェリフ川(Oued Chelif)は、この褶曲によってできた標

* 地質調査所地震地質課

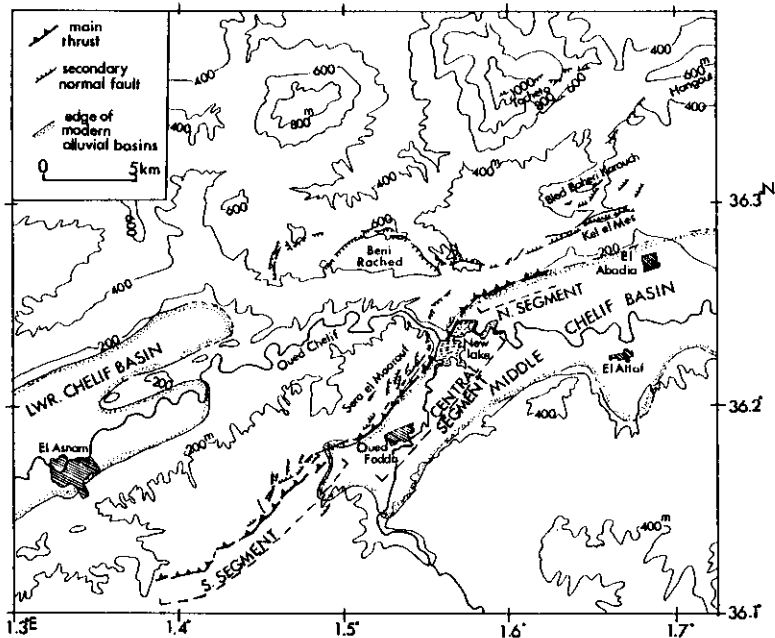


第1図 エルアスナム周辺の地形・地質概略図 (YIELDING ら⁶⁾より), アミの部分は山地または丘陵地を表わす, 白地の部分は第四紀後期の堆積物の分布を表わす, 波線で囲んだ部分は中新世の堆積盆の範囲を示す。

れると考えられている。第7図に示した YIELDING ら⁷⁾の求めた断層の垂直変位量分布はこの3つのセグメント構造によく対応している。PHILIP ら⁴⁾は中央セグメントでの最大変位量として、断層をまたぐ約300mの区間での鉄道線路の傾斜変化から北西側隆起6m, シェリフ川の堤防のずれから左ずれ2.7mという値を得ている。また、この中央セグメントでは FRIEDMAN ら (1976) の drape fold の実験などに見られるように、逆断層の上盤側のバルジに2次的な正断層群が発達するという特徴的な断層パターンが現われている。これは日本でも陸羽地震の際に現われた千屋断

高200mの丘陵 (Sera el Maarouf) を下刻して深い峡谷を作っている。このことは現在見られるようなシェリフ川の流路が形成された後に、この隆起運動が起こったこと、すなわち、断層運動を伴うこの隆起運動がごく最近始まったことを示す重要な証拠である。

地震断層は走向を南部の $N 50^{\circ} E$ から北部の $N 80^{\circ} E$ に変化しながら、全体として約33 km にわたって現われた (第2図)。また、地震断層はその分布形態から、南セグメント、中央セグメント、北セグメントの大きく3つのセグメント単位より構成され

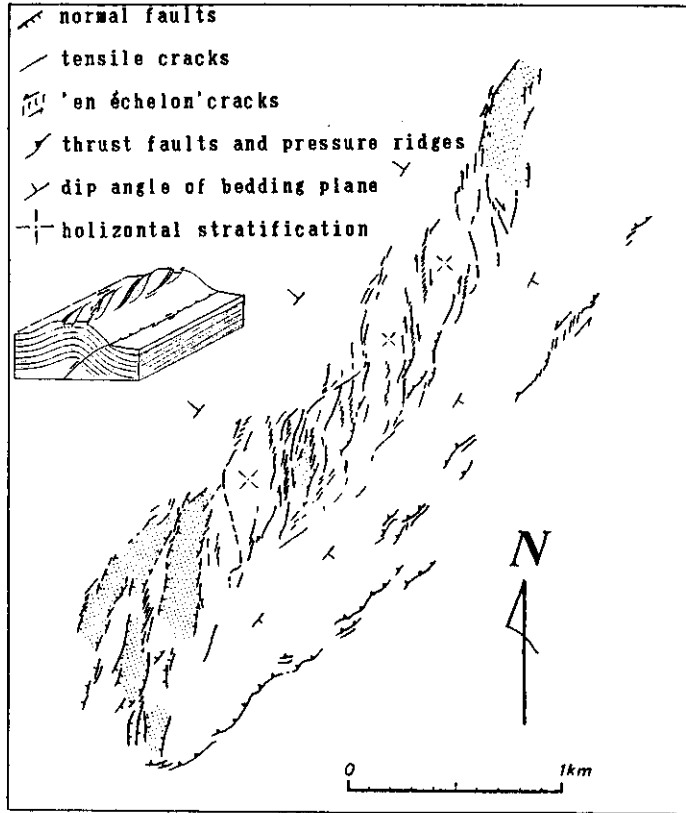


第2図 エルアスナム周辺の地形図と地震断層の分布概要 (OUYED ら⁵⁾より), 地震断層はその方向と変位量分布などから, southern segment, central segment, northern segment の3部分に分割される。

層の地表での形態と非常によく似ている。ただし、エルアスナムの地震断層の場合は、左横ずれ成分を少し持つ“左ずれ逆断層”であることから、2次的正断層群は左ずれパターンの雁行地溝群として現われたのが特徴的である（第3図）。今回の地震に伴った北西ブロックの隆起により、シェリフ川がダムアップされてOued Foddaの町の北に新しく大きな湖が出現した（第2図）。おそらくこの地域は地震のたびに同様の現象を繰り返してきたと考えられる。

Beni Rached 地域の円弧状の正断層群は、逆断層の運動にともなった2次的な構造的地すべり（第4図）⁴⁾あるいは撓曲にともなった2次的な正断層⁷⁾と解釈されている。このBeni Rached 台地の直下で1954年9月9日に発生し、1240人の死者を出したマグニチュード6.7の地震の時も同様な正断層が現われているので¹³⁾、その後論争のあったその地震の震源断層について、今回の地震学的資料をもとにして、再検討が行なわれている。YIELDING⁷⁾の解析は、1954年の地震は走向が東西に近い地下の逆断層が活動したものとするMcKENZIE¹¹⁾の考えを支持している。さらに北東部のKel el MesやBled Bahari Karouchにおいても地表のゆるやかな変形と正断層のみ現われた。しかし、あとで余震活動の項でも述べるように、深部に逆断層が存在すると考えられており、ここでも地表の変形は逆断層運動にともなう2次的なものとされている。

第5図はKING⁶⁾の示したSera el Maaroufを横切る代表的な横断面である。この断層崖の前面には3層に分類される扇状地堆積物が発達している。下位の2層からは下部旧石器時代（Acheulean, 1-0.1Ma）の石器が、また、最上位のものからは中期石器時代Mousterian, 0.1-0.03 Ma）の石器が発見されており、数十万年前より断層運動をともなった変形が累積的に継続して来たことが推測されている。一方、第5図に示すように現河床面より30mも上にある段丘（BOULAINÉ, 1957）はローマ時代の遺跡から西暦500年ぐらいのものとする資料

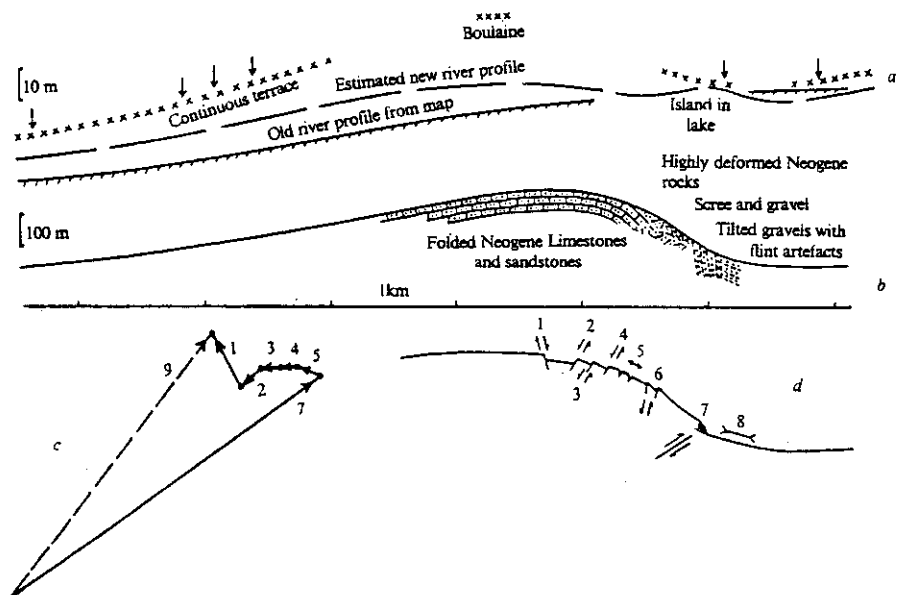


第3図 地震断層の central segment の逆断層と正断層の詳細図（PHILIPら⁴⁾より）。



第4図 Beni Rached を通る NE-SE 方向の地質断面図（OUYEDら¹⁾より）。

(VITA-FINZI, 1967)があることから, KINGら⁶⁾は Sera el Maarouf の隆起は, 15,000年前から500年周期で, 一度に約5m隆起させるような今回の地震と同程度のものが30回起こったとすると説明できるとして, きわめて起源の新しい活構造としてとらえている。しかし, 前述のような扇状地堆積物の変形からすると, 少なくとも数十万年から活動が累積されていると考えられるので, シェリフ川の段丘の対比およびその年代とともに再来周期が500年という見積りは再検討が必要と思われる。



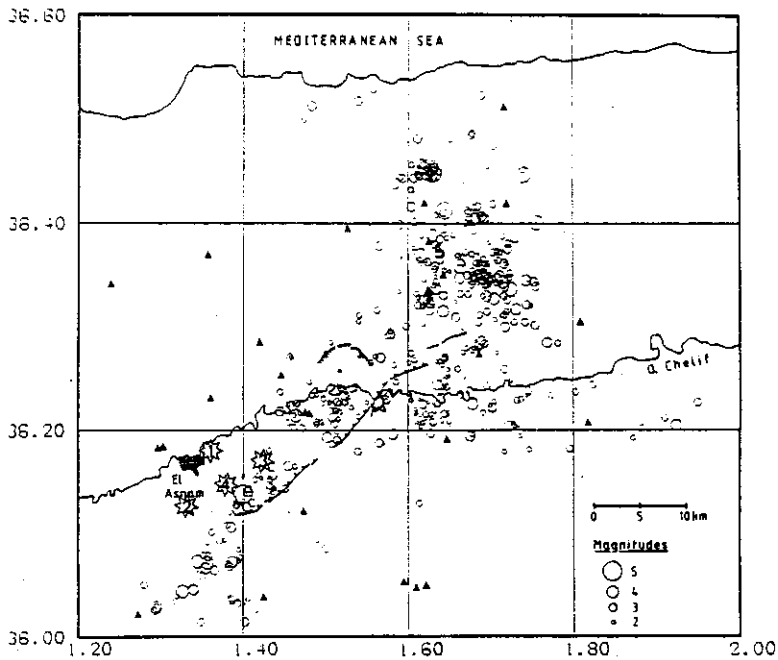
第5図 シェリフ川近傍の断層と変形を表わす代表的な断面 (KINGら⁶⁾より)
 a. 地形図より求めた旧河川の河床縦断面と新しくできた湖の形態から求めた新河川の河床縦断面。また, 後ローマ時代のシェリフ川の段丘も示してある。b. 背斜構造を横切る地形・地質断面。c. 深部の変位ベクトルに関して表層部の引張現象の効果を示すベクトル図。d. 各変位ベクトルの位置を示す。なお, a, b は垂直方向が強調されている。

余震活動

地震後約1ヶ月間の余震活動は北へは地中海の海岸近くまで広がり, 地震断層の長さの約2倍の領域に余震が分布している (第6図)。ほとんどの余震は地震断層の北東部分から北方に現われている。OUYEDら⁵⁾はこの余震のメカニズムを解析して, 北東部に広がる余震は, 地表に達していないのでそれを直接的に確認することはできないが, 地下の大きな褶曲構造に関連して扇状に広がる小規模の逆断層が活動したものであろうと結論している。また, 地震断層の南西側に余震が少ないのは主震が地震断層の南部セグメントに位置していたことと強く関連していると考えられている (宮原, 1985)。

地震の発生過程

主震の震央は各機関や研究者によって多少異なっているが, 断層の南西端付近であることはだいたい一致している (第6図)。震源の深さは 10 ± 2 km, 断層面の走向は $N45^\circ E$, 傾斜は $NW 52^\circ$



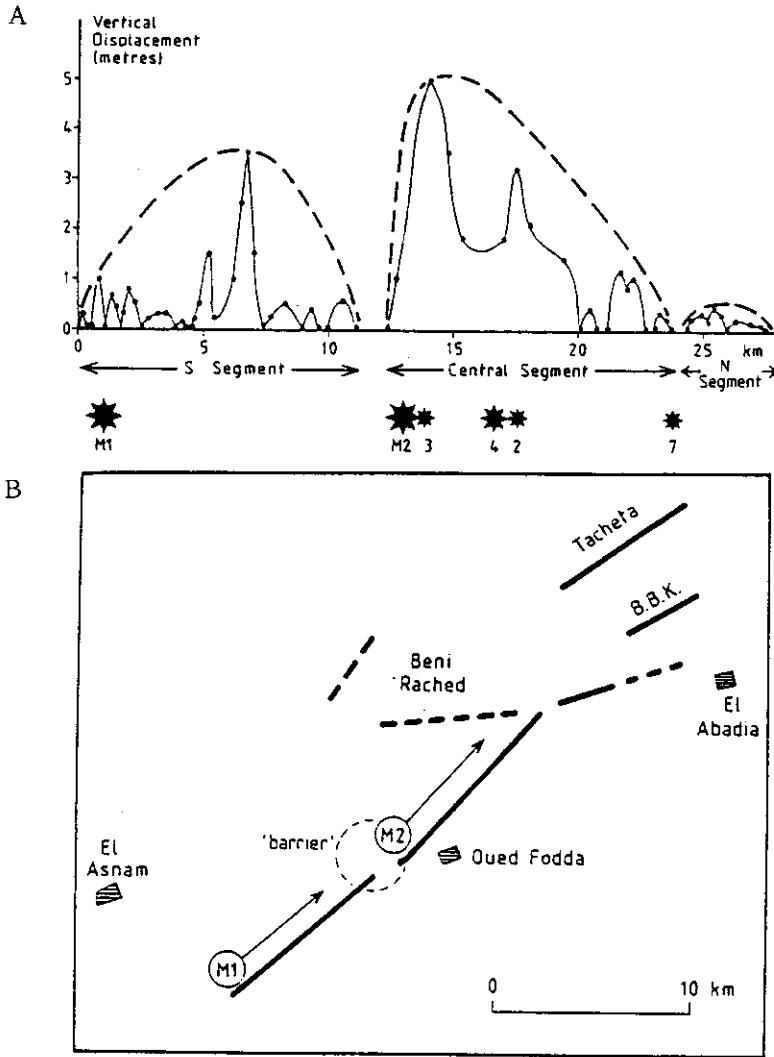
第6図 1980年10月15日から11月16日の間に発生した494個の余震の分布（OUYEDら⁵⁾より）および主震の位置。黒三角形は地震観測点を示す。主震の位置は各機関によって異なっている。星印は（1）USGS、（2）CSEM、（3）CISTERNASら³⁾、（4）YIELDINGら⁷⁾の決めた主震の位置。

58°と求められている（OUYEDら⁵⁾など）。

YIELDINGら⁷⁾、DESCHAMPSら²⁾、CISTERNASら³⁾は長周期地震計の波形解析から、この地震がバリエーモデル（DAS and AKI, 1977）で説明できるマルチプルショックであった、と結論し、3つのセグメントに分割されるこの断層の幾何学的配置と地震発生メカニズムが非常によく対応していると述べた。YIELDINGらは断層のほぼ南西端を主震の最初の破壊点として、そこから北東方向に向かって破壊が進行し、第2の破壊は最初の破壊より約4秒おくれて始まったと考えた。さらに南部セグメントと中央セグメントの間が破壊されずに残った“Barrier”であるとした。また、DESCHAMPSらやCISTERNASらは各セグメントの長さを12 kmとし、中央セグメントと北部セグメントの間にも第2の破壊より7.5秒おかれて、第3の破壊が起こったとし、その付近にもバリエーがあったと考えている（第7図）。

構造地質学的な位置付け

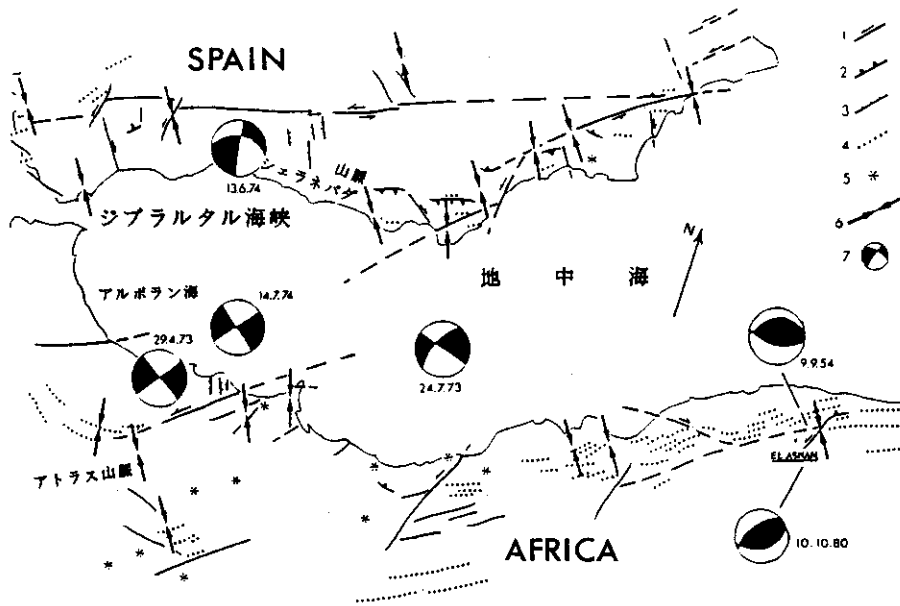
この断層は年間約0.8 cmで縮まっているヨーロッパプレートとアフリカプレートの境界地域のテクトニクス（MCKENZIE¹¹⁾、TAPPONIER¹²⁾）と深く関連した断層運動と考えられている。PHILIPら⁴⁾はこの地震断層を解析して応力像を求め、北北西-南南東のプレートの収れん方向ときわめてよく調和する左横ずれ逆断層運動であったと述べている。しかし、第8図から分るように、アフリカとヨーロッパのプレート境界はMCKENZIE¹¹⁾が引いたような1本の直線で表わされるようなものではなく、ある巾をもった領域が両プレートの衝突境界となっていると考えられる。これは東北日本の日本海側のテクトニクスと非常に似た特徴といえよう。そこではある巾を持つ帯状領域



第7図 地震断層の垂直変位量分布 (A) と断層の破壊過程のモデル (B) (YIELDING ら⁷⁾より). 星印は主震と大きな余震の位置. M1, M2 は主震の第1, 第2の破壊場所を示す.

が、現在逆断層によって構成されるほぼ一様な収縮域となっており、変位速度が卓越する Major Thrust の存在によって収縮量のほとんどが賄われているわけではない。新第三紀の堆積盆地形成に関連した正断層が現在は逆断層に転化していると考えられる点でもよく似ている。

この地震による水平短縮量約 2.5 m をプレートの収れん速度 0.8 cm/yr で割ると約 300 年という値が得られ、先に述べた KING らの再来周期と調和するように見える。しかし、PHILIP らの構造地質学的資料からすると、やはりこの断層 1 本でプレート境界とするわけにはいかない。したがって、この断層の活動による地震の再来周期はもっと長いと考える方が適当であろう。



第8図 西地中海周辺地域の活構造図 (PHILIP⁴⁾より).

1:横ずれ断層, 2:逆断層, 3:正断層, 4:第四紀褶曲, 5:アルカリ火山(3 Ma), 6:小構造と地震のメカニズム解析から得られた最大圧縮水平応力, 7:地震の発震機構.

おわりに

今回の地震断層は地震後の調査で明らかとなったように、何度も活動を繰り返して来た明瞭な活断層であった。ランドサット映像にも断層とすべき、はっきりとしたリニヤメントがみえている³⁾。西地中海のテクトニクスを考えるための、また、地震災害の予測のための、北アフリカのアトラス地域の活構造に関する研究課題はまだ多く残されているようだ。

エルアスナムの地震断層や地表の変形についての研究は、AMBRASEYS⁸⁾、YIELDINGら⁷⁾、PHILIPら⁴⁾のものが詳しいが、その中では地震後3日目から現地に入り、1週間後に撮影された15,000分の1の航空写真を用いて記載や測定を行ったPHILIPらの研究が最も詳細で信頼性が高いと思われる。

エルアスナム断層の活動性評価のためには、シュリフ川の段丘変形と対比を慎重に行なうことが重要であろう。また、地震の際にダムアップされてできた新湖の領域では、おそらく地震のたびに同様な湖、顕地が出現し、腐植質堆積物を厚く堆積していると考えられる。したがって、新湖付近 Sela el Maarouf の隆起量に対応する約200m程度のボーリング調査を実施すれば、この活断層の活動性について、かなり重要な資料を得ることができよう。

文献

○エルアスナム地震に関する報告.

France and Algeria

- 1) OUYED, M., M. MEGHRAOUI, A. CISTERNAS, A. DESCHAMPS, J. DOREL, J. FRECHET, R. GAULON, D. HATZFELD and H. PHILIP, 1981: Seismotectonics of the El Asnam earthquake. *Nature*, 292, 26-31.
- 2) DESCHAMPS, A., Y. GAUDEMBER and A. CISTERNAS (1982): The El Asnam earthquake of 10 October 1980: Multiple-source mechanism determined from long-period records. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 4, 111-1128.
- 3) CISTERNAS, A., H. DOREL and R. GAULON, 1982: Models of the complex source of the El Asnam earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 6, 2245-2266.
- 4) PHILIP, H. and M. MEGHROUI, 1983: Structural analysis and interrelation of the surface deformations of the El Asnam earthquake of 10 October 1980. *Tectonics*, 2, 1, 17-49.
- 5) OUYED, M., G. YIELDING, D. HATZFELD and G. C. P. KING, 1983: An aftershock study of the El Asnam (Algeria) earthquake of Geophys. *J. R. Astron. Soc.* 73, 605-630.

G. B.

- 6) KING, G. C. P. and C. VITA-FINZI, 1981: Active folding in the Algerian earthquake of 10 October 1980. *Nature*, 292, 22-26.
- 7) YIELDING, G., H. A. JACKSON, G. C. P. KING, H. SINHAL, C. VITA-FINZI and R. M. WOOD, 1981: Relation between surface deformation, fault geometry, seismicity, and rupture characteristics during the El Asnam (Algeria) earthquake of 10 October 1980. *Earth Planet. Sci. Lett.* 56, 287-304.
- 8) AMBRASEYS, N. N., 1981: The El Asnam (Algeria) earthquake of October 1980; conclusions drawn from a field study. *Q. J. eng. Geol. London*, 14, 143-148.

U. S. A.

- 9) ESPINOSA, A. F., 1981: The Algerian earthquake of October 10, 1980 --- Preliminary report. *Earthq. Inform. Bull.* 13, 23-33.
- 10) BURFORD, R. O., P. W. HARSH and A. F. ESPINOSA, 1981: 7.3 quake in Algeria reviewed. *Geotimes*, May, 18-20.

○地中海のテクトニクスに関して総括的にまとめているもの.

- 11) MCKENZIE, D. P., 1972: Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30, 109-185.
- 12) TAPONIER, P., 1977: Evolution tectonique du systeme alpin en Mediterranee: poinconnement et ecrasement ridge-plastique. *Bull. Soc. geol. France*, 7, XIX, 3, 437-460.

○1954年に今回の地震の震源の一部 Beni-Rached 付近で発生したM=6.7の地震に関する報告.

- 13) ROTHE J. P., 1955: Le tremblement de terre d'Orleansville et la seismicite de l'Algerie. *La Nature*, 327, 1-9.

本稿提出後、次の論文を入手しました。

YIELDING, G., 1985: Control of rupture by fault geometry during the 1980 El Asnam (Algeria) earthquake. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 81, 641-670.

その他の引用文献については紙面の都合により省略しました。