

火山破裂に於ける地震頻度經過の一考察

理學博士 南 葉 宗 利

1. 緒 言 筆者は前報文に於て火山爆發に於ける爆音頻度經過に就て研究した。⁽¹⁾それに準じて本文に於ては、火山破裂が地表面より下に於て行はれ所謂迸入活動を行ひたる場合を考察して表面噴火との關係に及び更に地震の“前揺れ”“本震”“餘震”の連絡に關して一試案を提出したい。

火山の表面噴火に先立ちて山下の破裂源から強弱様々の火山地震を發生するを常とする。此地震の初發と“噴煙發生”との時差は火山に依り相異があるやうで、故大森教授の報告によると⁽²⁾

(1) 明治21年磐梯山破裂の時の如く僅かに10分内外の場合がある。

(2) 三宅島(寛政、正徳、寶曆、天保、及び明治7年)、有珠岳(寛文3年、安政5年、明治43年)、櫻島(安永8年、大正3年)の如きは數時間乃至數日間であつて、地震が急激に回數を増加し、最も頻繁なる時期に達し、それより幾何かの時間を経過して後初めて噴火する。

(3) 溫泉岳(寛政4年)霧島山(明治36年)淺間山(大正2年5月)の如きは數ヶ月乃至1ヶ年の長さを示したと云ふ。此場合には地震は一時頻繁となり若しくは頗る強きことあるも、一旦鎮靜に歸し多少の時日を経たる後に噴火する。

(4) 以上の諸例の外に、地震は一時頻繁となり又は頗る強きことあるも鎮靜に歸し火山に異常を呈しない例が極めて多い(明治32年7月有馬溫泉鳴動、昭和18年6月金峯山地震等々)。

之等の諸現象の一解決方法として、“火山活動が地表面下に於て行はれた場合”をとりあけてみた。然る時は開口期及び噴出期の各活動毎に爆音の代りに地震を發生する。勿論微震にも及ばぬ弱勢力の時は單に微動のみになる。此の經過を數學的取扱ひに都合よく“準備地震に依つて火口栓抵抗を排除し、之が完了すると押出地震に依つて magma の押出をする”と解しやう。

2. 開口期の地震(準備地震と略稱せん). 破裂力は開口に於ては開口力(壓力)として作用する。従つて開口力を P とし、 R を管栓抵抗(壓力), N を準備地震回数, 時間を t とすると、爆音回数の場合の結果がそのまま利用出来るから

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{1}{cP_0 - b/R_0} - \sqrt{\frac{1}{(cP_0 - b/R_0)^2} - \frac{2aP_0}{R_0(cP_0 - b/R_0)}} t \\ \frac{dN}{dt} &= \frac{aP_0}{R_0} \left\{ 1 - \frac{2aP_0}{R_0} \left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right) t \right\}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

但し $(cP_0 + b/R_0) \cdot N$ は甚だ小さく且つ, $cP_0 > b/R_0$

又 a, b, c は定数, P, R_0 は $t=0$ のときの P, R の値である。

$$\text{故に } t = \frac{R_0}{2aP_0(cP_0 - b/R_0)} \equiv \tau \dots\dots\dots(2)$$

の時刻に於て dN/dt は最高頻度となり開口期を終了する。

$$\left. \begin{aligned} \text{又 } -\frac{dP}{dN} &= \frac{bP_0}{R_0} \left\{ 1 - \frac{2aP_0}{R_0} \left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right) t \right\}^{-\frac{1}{2}} \\ -\frac{dP}{dt} &= \frac{abP_0^2}{R_0^2} \left\{ 1 - \frac{2aP_0}{R_0} \left(cP_0 - \frac{b}{R_0} \right) t \right\}^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

となるから, $N, dN/dt$ の諸性質は爆音の場合と全同一であり, $t=\tau$ の時の R, P の値即ち R_τ, P_τ も同一式である。即ち開口期に於ては壓力は殆ど消耗されてゐない。準備地震の強さは(3)にて與へられる。

3. 噴出期の地震(押出地震と略稱せん). n を噴出期の地震回数とすると、爆音の場合の結果をそのまま利用して

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{-1}{\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau} + \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau \right)^2} + \frac{2\alpha P_\tau}{R_\tau \left(\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau \right)}} t \\ \frac{dn}{dt} &= \frac{\alpha P_\tau}{R_\tau} \left\{ 1 + \frac{2\alpha P_\tau}{R_\tau} \left(\frac{\beta}{R_\tau} - \gamma P_\tau \right) t \right\}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

但し $(\beta/R_\tau + \gamma P_\tau)n$ は甚だ小さく且つ, $\beta/P_\tau > \gamma P_\tau$

又, α, β, γ は定数, P_τ 及 R_τ は開口期終了時の P 及び R の値を示す。従つて

$$P_{t=\infty} = 0, \quad R_{t=\infty} = \frac{\beta}{\beta/R_\tau - \gamma P_\tau}$$

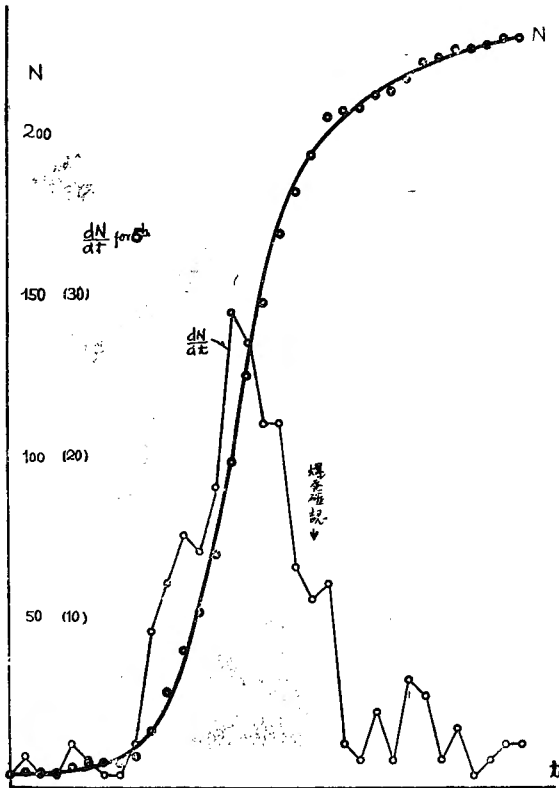
$$\left. \begin{aligned} -\frac{dP}{dn} &= \beta \frac{P_{\tau}}{R_{\tau}} \left\{ 1 + \frac{2\alpha P_{\tau}}{R_{\tau}} \left(\frac{\beta}{R_{\tau}} - \gamma P_{\tau} \right) t \right\}^{-\frac{1}{2}} \\ -\frac{dP}{dt} &= \alpha \beta \frac{P_{\tau}^2}{R_{\tau}^2} \left\{ 1 + \frac{2\alpha P_{\tau}}{R_{\tau}} \left(\frac{\beta}{R_{\tau}} - \gamma P_{\tau} \right) t \right\}^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

n , dn/dt の諸性質は爆音の場合と全く同様である。押出地震の強さは(5)で示される。

4. 結果の考察其の一、表面噴火との関係。

(A) 準備地震の N , dN/dt 式(1)は観測結果と略と一致する。第1圖は有珠岳明治43年の破裂の際の火山微震に就て圖示したものである。⁽³⁾

(B) 地震各個々の強さは $-dP/dN$, $-dP/dn$ に夫々比例する筈であるが、之によると準備地震は時間経過と共に漸次強大となり $t=\tau$ に於て最大となる。而して t 軸に凸である。之に反し押出地震に就ては最初が最大で時間経過と共に漸減し t 軸に凸である。兩者を合して考ふるに τ 前後が最強、最頻繁となる。



第1圖 明治43年有珠岳破裂に於ける火山地震回数及び毎6時間毎の頻度

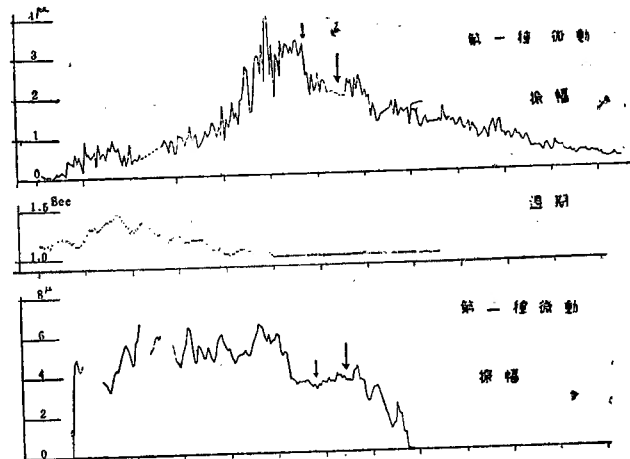
(C) dN/dt は $t=\tau$ に近づくに従つて増加し、強さも之と同様に増加するから一定感度の微動計に於ては $t=\tau$ の附近で目立つて急増する如く感ぜられる筈である。押出地震では前者と逆に τ の後で急減することが目立つ筈である。

(D) 地下火山活動が比較的靜、穩である所の Vesuvius 型の活動に

ありては、火山微震が判然と區別し難く計測に不便の場合がありうる。かかる場合には dn/dt , dN/dt の如き數量を數へ上げ又 $-dP/dN$, $-dP/dn$ の如き各箇振幅の平均を求

めるよりも、時間的平均の $-dP/dt$, $-dp/dt$ (振幅) を計測する方がより容易である筈である。此時間的平均振幅も(3)(5)式から明かなる如く開口期、噴出期共に t 軸に凸形で $t=\tau$ に於て最大である。而して dN/dt , dn/dt よりも $t=\tau$ の前後に急傾斜である筈である事が知れる。第2圖は佐々憲三博士の報告にある昭和5年9月の阿蘇第四火口の爆發に於ける週期1秒源の活動を示す毎時間の平均振幅の變化曲線である。微動回数頻度よりは判然してゐる。

(E) 進入活動の噴出期になると、火山瓦斯の大量が火口底直下に急に集積す



第2圖 昭和5年9月阿蘇に於ける第一種微動毎時の平均振幅

るから火口管の上部からは噴煙を開始し、所謂表面噴火の場合の開口期を開始するに至る。時間が経つと表面噴火の噴出期に入つていよいよ黒煙猛々と最旺盛活動期に入る。従て遠隔地の観測者にも火山爆發を確認せしめる。之を一聯の現象と見ると、火山微震最多頻度或は最大振幅の時刻を通り過ぎた後若干時間の後はじめて火山が爆發した如く讀めることになる。筆者が阿蘇第一火口に於て経験した所によると、表面噴火の開口期の初めは遠隔地の観測者には認め得ないが火口現場に於ては既に明かに認め得る⁽⁵⁾。又數多の噴火記事殊に磐梯山の如き Vulcano 型の活動に於てさへ、火山破裂と記録されてゐる時刻よりも以前に既に白煙上昇を認むと記してある⁽⁶⁾。昭和8年2月の阿蘇第二火口爆發に於ても2月23日夕刻に於て既に活動をはじめて之が爲に火口縁の居住者は夜半に下山し避難したのである。而して山上本堂(約800 m 西方)に於ては漸く24日2時半頃に至つて爆音を確認するにいたつてゐる。之等の事實から表面噴火は少くとも $t=\tau$ に於ては既に始まつてゐると見て差支ないやうである。従て本文初頭にあげた(1)(2)の火山地震初發から噴煙發生までの時差とは表面噴火の開口期繼續時間とあまりひどい差がないものと認められる。

(F) もし進入活動が火口底下相當の深度にある場合を考へると、 dN/dt 又は微動振幅

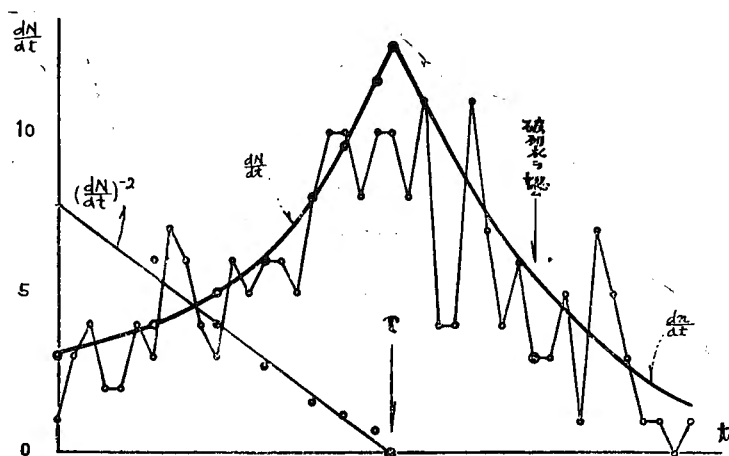
の増大ありて $t=\tau$ に達しても火山瓦斯壓が火口栓を排除し得ない場合がありうる。此時には、火口には依然として異變無きも火山微震頻度或は振幅は最高所を經過して噴出期に入り既に衰耗期に入る。かくして表面噴火無くて火山は再び靜寂に歸る(前記(4)の場合)。

(G) 進入活動が更に上層部に於て開始されると、(F) の如く一應靜寂の火山は再び一連の準備地震群を發生し最高頻度の時刻に至る。幸にして此進入活動の結果火口栓を排除しうるとすると、最高微震頻度後に於て表面噴火を起す。

(H) 前記の如く深所から表面に向つて進入活動を繰返して來たとすると、地震頻度に於て又は振幅に於て最高所があまた現はれる筈である。

(I) 進入活動が略同一箇所に於て數回繰返へされて後漸く表面噴火の可能的場合がありうる。(前者の場合と地震波動の週期に相異あり)。

5. 結果の考察其の二、表面噴火豫知に就て 火山表面噴火は火山微震の準備地震最多頻度時刻附近に於て開始せられるのが原則とするならば、 $dN/dt, t$ 曲線から計算又は圖式的に(1)式から τ は見出しうる筈である。従つて表面噴火の豫定時刻は略豫定出来る筈で



第3圖 毎2時間毎火山地震及び $\left(\frac{dN}{dt}\right)^{-2}, t$ 曲線から求めた τ

ある。其の一例を第3圖に示す。

然るに地下爆發點が比較的深所にあつて表面噴火を起し得ない場合がある事を前述した。従つて Intrusion の深淺を知らねばならぬことになる。此深淺を測

る事は未だ實施されたものは無い。筆者はこの試みに“震源地の距離に依つて觀測される地震動の週期に相異のある事”を想記したい。

大森教授に依ると淺間火山に於ては 5.7 秒, 2.1 秒, 1.27 秒, 0.82 秒, 0.39 秒が認められ、有珠岳、三原山に於ては 0.52 秒, 1.1 秒, 1.6 秒, 2.1 秒の卓越が認められる。阿蘇に於ては

微動が卓越し、佐々憲三氏に依つて分類されてゐるが、第二種(4—6秒)第一種(1秒前後)第三種(0.5秒前後)第四種(0.2秒前後)が火山微動として附隨してゐる⁽⁷⁾。三原山に於ける永田武氏の観測に於ては、1.1秒前後の微動の振幅變化が三原山火山活動に略平行的に現はれる事が認められてゐる。

之等の事實は全國共通的に地殻には1秒、5秒の週期を出す深さに進入活動をなしうる好位置のある事を示すと云へる。更に火山微震に於て週期26.4秒、6.0秒、2.2秒、0.95秒、0.38秒等が認められてゐる事實から推して、火山地震源にはかなり深いものがある事が知れる。

火山微動に火山地震も加擔せしめてその振幅最高所の時刻が長週期より短週期に順次に遅れて現はれ遂に表面噴火に移行すると見られる。しかも火山に於て現はれる週期が略一定してゐる事は進入活動の場所(深さ)が略一定してゐる事を示すと見られる。

我國火山活動に極めて顯著な Intrusion の源と見受けられる1秒前後の Source の Intrusion が必ずしも表面噴火を約束づけてゐてくれない事は屢々經驗される事で、既に阿蘇火山に於て第一種微動が最高振幅から減衰に移行しても即第一種微動の τ を過ぎても表面噴火をしなかつた例は數多あるのである。是れ表面噴火に對する決定的⁽⁹⁾の Intrusion source は之よりも更に上部にあることを教へるものである。阿蘇に於ては第三種微動(0.5秒)源はかなりの確實性があるらしい事は此間の事情を物語る。

何れにしても1秒よりも短い週期の Source に於て Intrusion があると必ず表面噴火をすると斷言出来ることになる。阿蘇に於て昭和8年に測定された此深さは第一火口底約1000米前後の所であるらしい。精測は今後に待つ。

6. 地震の“前き揺れ”に就て 地震現象に於て“前き揺れ”，本震，餘震の現象があるが之等相互の關係は判然してゐないで、次の事柄が知れてゐるのみのやうである。⁽¹⁰⁾

- (i) 前揺れのある大震には餘震が必ず伴ふ。
- (ii) 前揺れの認められない大震があるが之には餘震が必ず伴ふ。
- (iii) 地鳴に始まつて起る大震は比較的大きい地震で、餘震ある場合も認められぬ場合もある。

(iv) 本震のみで、餘震ある場合と無い場合が共にある。

(v) 地鳴又は微震頻發現象のみで終熄する場合がある。

大森、松山教授に依ると、“前き揺れ”は最初相當の地震が感じられ、つひで小震動が頻發しやがて本震となるのが普通であるが、この“前揺れ”と“本震”との關係は確定する程の材料は無いやうであると云はれてゐる。

筆者は本文に於て考へた迸入活動による地震の経過をこゝに思ひ起して、此の疑問の一解決試案としたい。もし準備地震を“前き揺れ”とし、前後の最大地震を本震とし押出地震を餘震現象と見るのである。しかる時は前記諸條項は Intrusion の淺深、各常數の大小に依つて全部了解出来ると思ふ。もとより地震現象の原因は一様ではないが、少くとも Intrusion に原因する地震に於ては完全に氷解しうるのである。

さて“前揺れ”に關する資料は不足であつて數量的検討は後日に譲らねばならぬが、餘震に關しては大森、鹽冶、日下部、松山諸氏の研究がある。大森教授の研究に依ると、氏の實驗式は事實と極めてよく一致する由である。即ち y を或時間内の餘震回数とし、 x を大地震後の時間とすると、濃美地震の如きは $y=K/(x+h)$ で示され、明治24年10月29日の濃美地震の時は $K=440.7, h=2.314$ となる由。又明治22年7月28日阿蘇立野火口瀨に起つた所謂熊本地震に於ては $y=\frac{K}{a+\beta t+t^2}$ の方がよりよく合致するとの事である。前式に關しては鹽冶氏の理論的解式があり、又松山教授の同じ結果がある。後者に關しては鹽冶氏の式があるが不合理の結論となる由にて別の形が出してある。⁽¹²⁾⁽¹³⁾

さて餘震に關して筆者の考へ方からすると、押出地震の式(4)を展開して t^2 の項までとると後者を得るし、原方程式の解法の時 $(\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau})n \gg \log \frac{\gamma P_\tau R_\tau}{\beta}$ の場合には

$$\left. \begin{aligned} & e^{\left(\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau}\right)n} \div 1 + \frac{\alpha \left(\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau}\right)^3}{\gamma^2 P_\tau R_\tau} t \\ \text{故に} \quad & n = \frac{1}{\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau}} \log \left(1 + \frac{\alpha \left(\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau}\right)^3}{\gamma^2 P_\tau R_\tau} t \right) \\ & \frac{dn}{dt} = \frac{\frac{1}{\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau}}}{t + \frac{\gamma^2 P_\tau R_\tau}{\alpha \left(\gamma P_\tau + \frac{\beta}{R_\tau}\right)^3}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

となつて大森恒数は $K = \frac{1}{\gamma P_{\tau} + \beta/R_{\tau}}$, $h = \frac{\gamma^2 P_{\tau} R_{\tau}^*}{\alpha(\gamma P_{\tau} + \beta/R_{\tau})^3}$ となる。之は大森實驗式と一致し鹽冶、松山氏の理論式と一致する形である。明治22年の立野の地震は阿蘇火山活動源の地震で吾人の今考へてゐる Intrusion の場合にあたるのであるが、之が吾人の式に一致して出てゐるのは注目に値する。實際の觀測は $\int \frac{dn}{dt} dt$ であるが、 $\frac{dn}{dt}$ と大差ない事は松山教授も認め又鹽冶氏の研究も之を認めてゐる。⁽¹⁴⁾

かくて Vulcano 型、Vesvius 型の差はあつても原則としては Intrusion による地震には必ず“前揺”があつて、 τ に於て本震 $\left[\left(-\frac{dp}{dn} \right)_0 = \beta \frac{P_{\tau}}{R_{\tau}} \right]$ となり次で餘震を附隨するのが正常状態と思はれる。特に Vesvius 型の比較的淺い Intrusion にあつては、鳴動や微震の如き週期速きものが頻發するが τ に至るも大なる地震となることなくして終る事もありうる場合である。

雉、餘は地震を豫感することありと云はれ又特種な人人には暗夜發光感を起させる事が記録されてゐる。雉餘は音波よりも地の振動に敏感である事は狩獵家の特に注意してゐる所である。之に依つてみると、Intrusion による地震の場合には準備地震(前き揺れ)が勢力極めて弱く人體に感じない微震或は微動を發し得るにすぎない時之等の動物には共鳴を起さしめる事は想像出来るやうである。又特種網膜の保持者の如き感覺鋭敏のものには此微震動が暗夜發光感を與へる事も考へられぬでもない。

しかし“前揺れ”に對しては資料不足の爲これ以上は後日にまたねばならぬ。

7. 結 語 火山爆音頻度曲線の諸性質を地下火山活動(Intrusion)に利用して表面噴火と火山微震或は微動の平均振幅又は頻度の増減との關係を論じた。而して1秒週期よりも更に小さい週期の振動に共鳴する装置に依つて振動學的立場からの表面噴火豫告の可能性を知つた。

更に Intrusion に依つて起生される地震の場合には、“先き揺れ”，本震，餘震が存在する事を知り、その餘震の式は本文のものを特種簡單の場合に利用すると從來の式に導かれる事も指した。Intrusion による本震の起る τ は火山の場合と同様に算出出来る事も知れた。

本文の調査費用は文部省科學研究費に負ふ所であつた。始終御指導を賜つた野滿教授に厚く謝意を表して本文を終る。

文 獻

- (1) 南葉：一火山爆發に於ける爆音經過の一考察，昭和18年日本數物年會報告，本誌本號 171 頁。
- (2) 大森房吉：一噴火と地震の發生，震災豫防調査會報告第87號54頁。
- (3) 大森房吉：一(2)に同じ。
- (4) 佐々憲三：一京大理學部記要A, 18(1935)255, 19(1936), 11; 地球物理第3卷第3號(昭和14年)15頁。
- (5) 南葉：一阿蘇火山活動と鉛直地震位傾度變化との相關：一地球物理第3卷第4號(昭和14年) 301 頁; 京大理學部紀要A, 23(1941)171; 日本學術振興會第6委員會抄錄(昭和16年)49頁。
- (6) 大森房吉：一日本噴火誌下，震災豫防調査會報告第87號44頁。
- (7) 佐々憲三：一火山微動と爆發地震の性質に就て，地球物理第3卷第2號(昭和14年)142頁。
- (8) 一例佐々憲三：一火山爆發活動と火山微動地震との關係，前出(4)。
阿蘇火山爆發豫知の問題，日本火山學會會報“火山”第3卷第2號(昭和12年3月)125頁。
- (9) 前出(4)。
- (10) 大森房吉：一餘震に関する報告，震災豫防調査會報告，第2號，第30號。
松山基範：一畿近の地震學(大正14年)
今村明恒：一地震學講話(大正13年)。
和達清夫：一地震(第一部); 震災(昭和10年)。
- (11) 鹽冶應太郎：一餘震に就て，震災豫防調査會報告第35號35頁。
- (12) 前 出。
- (13) 前出(11)。
- (14) 兩氏とも前出。