

目的

「地震波による地球の内部構造の推定」は、図1のようにしてなされる。しかし、それに関する教科書の記述は形式的と思われるものがほとんどである。そこには、ジェフリーズらの速度分布・地震波経路・走時曲線の絵が三種の神器のように掲載されているだけである。

我々はいかにして地球の内部構造を推定するのか、その推理のおもしろさ、自然科学の醍醐味はどこにも感じられない。特に、速度分布と地震波経路の関係が明確でないように思われる。

そこで、任意の速度分布から地震波経路を自動的に描くシミュレーションを開発した。

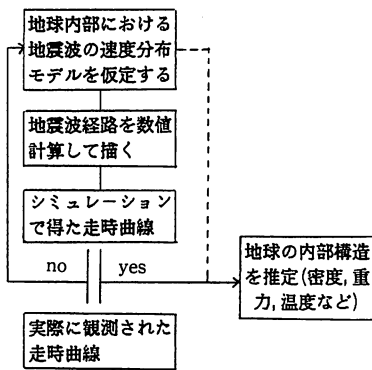


図1 内部構造の推定

概要

パソコンを用いて、地球内部における地震波の速度分布に応じた伝播経路が自動的に描けるようシミュレートした教材である。地震波速度の連続的な変化に対応して、伝播経路が屈曲していく様子が動的に表示され、シャドウ・ゾーンが生じることもひと目でわかる。

理科Iの学習における、地震波の速度分布と地球の内部構造の関係把握に役立つだけでなく、任意の速度分布から伝播経路を試行錯誤的に求め得るので、理科IIに活用できる。

アルゴリズム

図2で地球内部における地震波速度が、地球の中心

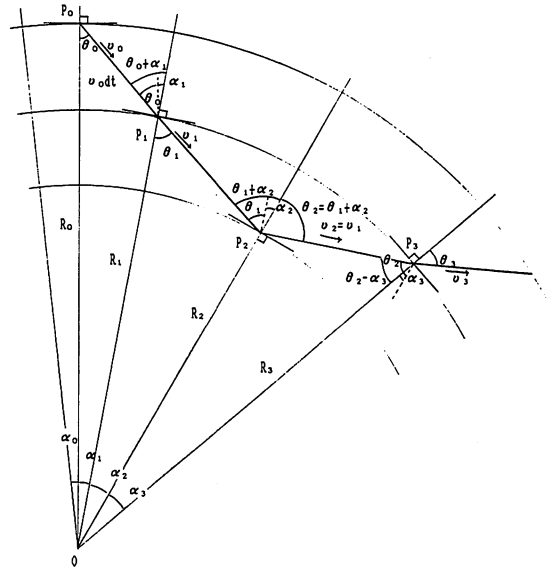


図2 経路の求め方

からの距離 R だけの一次関数として、 $v = kR + C$ で表わされるとする。

距離 R_0 、中心角 α_0 の点 P_0 を速度 v_0 、角度 θ_0 で出た地震波が時間 dt の間に点 P_1 まで達したとき、 $\Delta P_0 P_1$ において、

$$\overline{P_0 P_1} = v_0 dt$$

と近似すれば、簡単な三角関数の公式を用いて、

$$R_1 = \sqrt{R_0^2 + (v_0 dt)^2 - 2R_0 (v_0 dt) \cos \theta_0}$$

$$\alpha_1 = \sin^{-1}\{(v_0 dt) \cos \theta_0 / R_1\}$$

を得る。また、点 P_1 における地震波速度 v_1 は、

$$v_1 = kR_1 + C$$

である。ここで、点 P_1 において屈折の法則を適用すると、

$$\theta_1 = \sin^{-1}\{v_1 \sin(\theta_0 + \alpha_1) / v_0\}$$

が求められる。

同様の計算を繰り返せば、順次 R と α が定まり地震波経路を求めることができる。地球の外側へ向かう波、全反射する波についても同じである。そのフローチャートを図3に示す。なお、プログラム作成には NEC の PC-9801VM2 を用いた。

* くわはら こうじ 徳島県立貞光工業高等学校 教諭 〒779-41 徳島県美馬郡貞光町字馬出63の2
TEL (088362) 3135

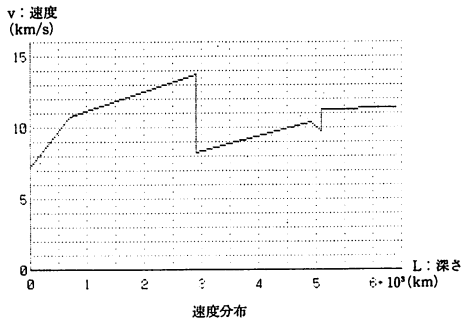


図 8-1 ジェフリーズ速度分布

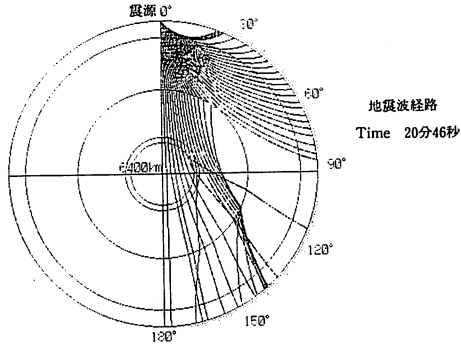


図 8-2 ジェフリーズの地震波経路

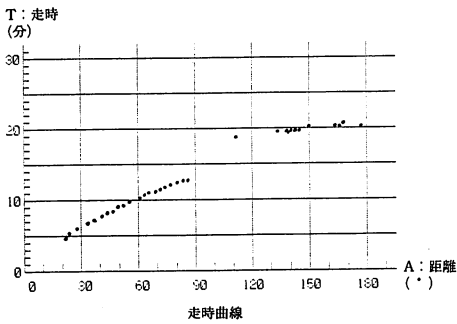


図 8-3 ジェフリーズの走時曲線

入射角が1°ごとに40°までの地震波が40本描かれている。これを全部描画するには、disk.writeモードでは約37分、disk.inputモードであれば約7分かかる。また、ディスクに格納されているデータ量は約280kBである。

授業への活用

このシステムは活用範囲の広い、柔軟性を備えたものである。例えば、次のような利用法・効果が考えられる。

1. 地震波経路の描画をデモするだけでも、波面の進行の様子などをダイナミックにとらえることができる。
2. いろいろな速度分布に対する地震波経路を描くこ

とにより、速度分布と経路の関係を明確に視覚化できる。

3. 地震波経路の描画中、キーボードの〔CTRL〕キーと〔S〕キーを同時に押すと描画が一時停止する。これを利用して、生徒自身に走時曲線をプロットさせることもできる。
4. アルゴリズムは簡単であり、用いた物理や数学の公式も高校教科書の範囲内である。パソコンも普及しつつあるから、理科の探究的課題にも取入れられる。

PC-9801VM2用の「1本の地震波経路を描くアルゴリズムが一番わかりやすい基本プログラム」を、図9に示す。

```

1  * * * * * システムの起動プログラム * * * * * PC9801VM2
100
110 *INITIAL_CONDITION
120 CONSOLE 0.25,0.1:WIDTH 80.25:SCREEN 2.0:CLS 1
130
140 *DIMENSION
150 H=10 : DIM VS(H),VE(H),L(H),K(H),VC(H)
160 J=1000 : DIM R(H),A(H),V(H),Q(H),X(H),Y(H)
170
180 *READING_JEFFREYS
190 NMAX=5
200 FOR J=1 TO NMAX
210 READ VS(J),VE(J),L(J)
220 K(J)=(VE(J)-VS(J))/L(J)-L(J-1)
230 VC(J)=VS(J)-K(J)*L(J-1)
240 NEXT J
250 DATA 7.2,10.8,700
260 DATA 10.8,13.8,2900
270 DATA 8.2,10.4,4900
280 DATA 10.4,9.8,5100
290 DATA 11.2,11.4,6400
300
310 *EARTH_DRAW
320 WINDOW=L(NMAX),-L(NMAX)-L(NMAX),L(NMAX)
330 VIEW(10,10)-(390,390)
340 FOR J=0 TO NMAX-1
350 CIRCLE(0,0),L(NMAX)-L(J),...1
360 NEXT J
370 LINE(0,-L(NMAX))-(0,L(NMAX)),1
380 LINE(-L(NMAX),0)-L(NMAX),0,1
390
400 *INPUT_QSTART
410 WHILE INKEY$<>"*":WEND
420 LOCATE 60,3:INPUT"ユツクツク?":QSTART
430
440 *PARAMETER_INITIAL
450 PAI=3.14159 : DT=2 : T=0 : I=0 : A=0
460 R(0)=L(NMAX) : A(0)=0 : V(0)=VS(1) : Q(0)=QSTART/180*PAI
470 X(0)=0 : Y(0)=-L(NMAX) : FLAG=0 : C1=0 : C2=0
480
490 *WAVE
500 I=I+1
510 T=T+DT
520 GOSUB *CALC_OF_R_A
530 GOSUB *CALC_OF_V_Q
540 GOSUB *DISPLAY
550 GOTO *WAVE
560
570 *CALC_OF_R_A
580 R(I)=SQRT(R(I-1)^2+V(I-1)*DT)^2-(I-1)*FLAG+2*R(I-1)*V(I-1)*DT+COS(Q(I-1))
590 C1=V(I-1)*DT+SIN(Q(I-1))/R(I)
600 A(I)=ATAN(C1/SQRT(1-C1^2))
610 RETURN
620
630 *CALC_OF_V_Q
640 FOR J=NMAX TO 0 STEP -1
650 IF R(J)-R(I)>L(J) THEN *TRAP
660 NEXT J
670 *TRAP
680 V(I)=K(I)*R(I)+R(0)-R(I)+VC(I+1)
690 C2=V(I)*SIN(Q(I-1))+(-1)*FLAG+A(I)/V(I-1)
700 IF C2>.999 THEN Q(I)=Q(I-1)+A(I):FLAG=1:RETURN
710 Q(I)=ATAN(C2/SQRT(1-C2^2))
720 RETURN
730
740 *DISPLAY
750 LOCATE 60,5:PRINT USING"Time ###:":T Y 60,T MOD 60
760 LOCATE 60,6:PRINT USING"Radius ###km":R(I)
770 LOCATE 60,7:PRINT USING"Angle ###:":A*180/PAI
780 LOCATE 60,8:PRINT USING"Vq ###km/s":V(I)
790 LOCATE 60,9:PRINT USING"Q= ###.":Q(I)*180/PAI
800 A=A+A(I)
810 X(I)=R(I)*SIN(A):Y(I)=-R(I)*COS(A)
820 LINE(X(I-1),Y(I-1))-(X(I),Y(I)),1
830 IF R(I)=R(0) THEN *INPUT_QSTART
840 RETURN

```

図 9 基本プログラム

その他補遺事項

本研究のプログラムは、現在 PC-9801VM2 (日本電気)、FM16B-FDII (富士通) で動作している。僅かな修正で他機種へも移植できるが、8ビットのパソコンでは処理速度が遅い。

参考文献

- 1) 牛来正夫：地球内部の物理・化学、東海大学出版会 (1980)
- 2) 坪井忠二：地球物理学、岩波書店 (1976)
- 3) 田治米鏡二：弾性波による地盤調査法、横書店 (1981)