投稿

秋の日はつるべ落とし

佐藤明達

1. はじめに

毎週金曜日、朝日新聞に掲載される「疑問解決モンジロー」に、先日「つるべ落としは本当？」という記事が出た[1]。福岡県の読者、伊藤忠さんからの質問で

「秋の日は釣瓶（つるべ）落とし」といわれますが、あっという間に日が暮れてしまうように思える感覚の話で、単なる文学的な表現と考えていいのでしょうか。この季節だけ、太陽が速度を上げて落ちることは考えられません。何か科学的な根拠でもあるのでしょうか。

というものである。モンジローが質問に参上した国立天文台暦計算課の職員は次のように回答した。

① 秋は、日の入りの時刻が日に日にずれてゆく、その変化が四季で一番大きい。

②秋は、日が短くなる上に、太陽が真南を通過（南中）する時刻がどんどん早くなる。引っ張られるようにして、日の入りも急速に早くなる。

③日の入り後、西の空がしばらく明るいたそがれの時間も秋は短い。太陽が、沈んだ後もまっすぐ落ちていくようになるためで、どんどん光が空に届かなくなる。

手元の 2002 年版理科年表[2]を用いて東京（東経 $9^h18^m.979$、北緯 $35°39'.27$）における日入時刻をグラフに描くと図 1 のようになる。点線は平均値を示す。形はサイン・カーブに似ており、秋分の頃は日入時刻の早くなり方が大きい。どうしてこうなるのであろうか。

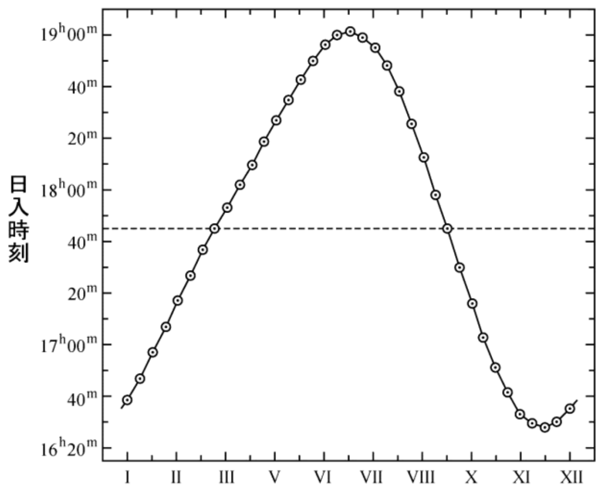

図 1　日入時刻曲線（東京）

2. 日入計算式

簡単のため太陽は点光源（半径ゼロ）で、地球に大気はない（大気差ゼロ）ものとしよう。図 2 は天球で、P は天の北極、Z は天頂、N は北点、S は日入時の太陽（赤緯δ）である。その時の太陽の時角を H、観測地の緯度をφとすれば[3]

$$\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos H = 0 \qquad (1)$$

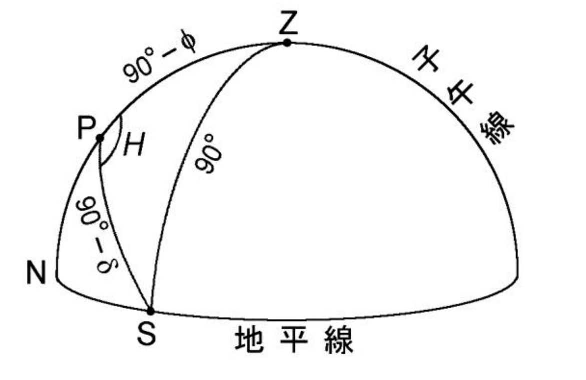

図 2　日入り時の太陽

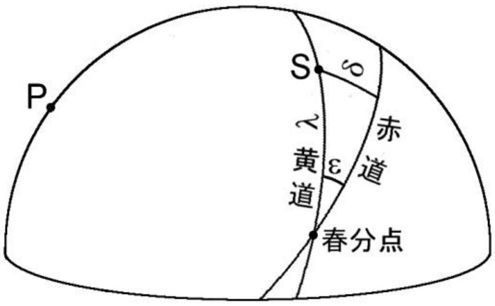

図３　黄経と赤緯

即ち

$$\cos H = -\tan\phi \tan\delta \qquad (2)$$

太陽の黄経をλ、対恒星平均運動を n、黄道傾斜角をε、春分からの日数を t とすれば、図３より

$$\sin\delta = \sin\varepsilon \sin\lambda \qquad (3)$$

$$\lambda = nt \qquad (4)$$

H を時間で表わし、(2)、(3) からδを消去すれば

$$\sin\left\{\frac{\pi}{12}(H-6)\right\} = \frac{\tan\phi \sin\varepsilon \sin\lambda}{\sqrt{1-\sin^2\varepsilon\ \sin^2\lambda}} \qquad (5)$$

これを級数に展開し、初項のみ採れば

$$H = 6 + \frac{12}{\pi}\tan\phi \sin\varepsilon \sin\lambda \qquad (6)$$

よって日入時刻 H はほぼサイン・カーブを描いて変動することが分かる。

しかし図１をよく見ると、回答①にあるように、日入時刻の変化は春分の頃に小さく、秋分の頃に大きい。しかも

夏至	６月	21 日
日入が最も遅い日	６月	29 日
日入が最も早い日	12 月	６日
冬至	12 月	22 日

のように、日入が最も遅い日や早い日は夏至や冬至から大きくずれている。これはなぜであろうか。

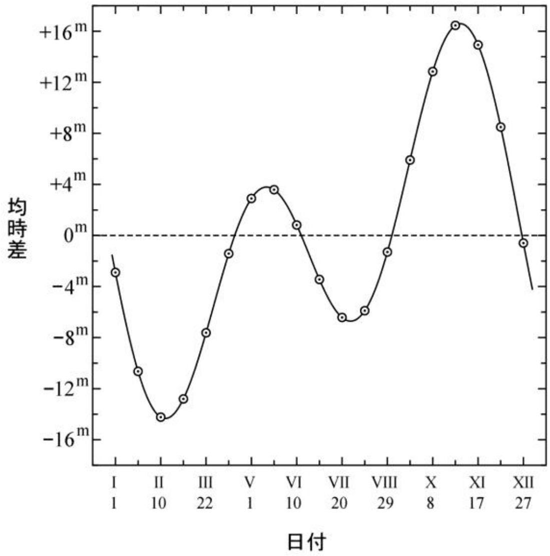

図４　均時差曲線

3. 均時差の影響

私達の日常使用する時刻(平均太陽時)は、天の赤道上を等角速度で一年間に一周する仮想的な太陽(平均太陽)によって決められる。実際の太陽（視太陽）は赤道とεだけ傾いた黄道上を不等角速度で動く（地球の軌道が楕円のため）から、視太陽による時刻（視太陽時）は平均太陽時と一般に一致しない。両者の差を均時差といい

均時差＝視太陽時－平均太陽時

＝平均太陽の赤経－視太陽の赤経

をグラフに描くと図４のようになる。これは黄道傾斜角の効果と地球離心率の効果とを合成したものである[4]。図４を見ると、秋分の頃は、均時差は増加しつつある。つまり視太陽は平均太陽より日を追って早く南中する。従って日入時刻を平均太陽時で表わすには、（5）で求めた日入時刻から均時差を差し引く必要がある。均時差は増加中だから、日入時刻の早まりが一層加速されるのである。春分の頃も均時差は増加中だが、日入時刻は逆に遅くなりつつあるから、均時差によって遅くなり方が緩和されることになる。これが回答②の意味である。

4. 数値的検証

（4）を考慮して（6）を t で微分すれば

$$\frac{dH}{dt}=\frac{12}{\pi}n\tan\phi\sin\varepsilon\cos\lambda$$

理科年表によれば

$$n=3538''.19=0^\circ.98561$$

$$=\frac{\pi}{180}\cdot 0.98561\text{ラジアン}$$

$$\varepsilon=23^\circ 26'$$

であるから、東京（ϕ＝35° 39′）での秋分（λ＝180°）頃における 10 日間の日入時刻の変化は

$$10\frac{dH}{dt}=-\frac{120}{\pi}\cdot\frac{\pi}{180}0.98561\cdot\tan 35^\circ 39'\cdot\sin 23^\circ 26'$$

$$=-0^{\mathrm{h}}.18742=-11^{\mathrm{m}}.2452$$

一方、理科年表によれば

		均時差	東京の日入
9 月	18 日	＋5$^{\mathrm{m}}$ 37$^{\mathrm{s}}$.8	17$^{\mathrm{h}}$ 45$^{\mathrm{m}}$
	28 日	＋9$^{\mathrm{m}}$ 8$^{\mathrm{s}}$.4	17$^{\mathrm{h}}$ 30$^{\mathrm{m}}$
差		＋3$^{\mathrm{m}}$ 30$^{\mathrm{s}}$.6	－15$^{\mathrm{m}}$

上の計算値から均均差の増分を引けば、日入時刻の早まりは －11.25－3.51=－14$^{\mathrm{m}}$.76。これは理科年表の値－15$^{\mathrm{m}}$ と一致する。

同様に春分（λ＝0°）頃における 10 日間の日入時刻の変化は

$$10\frac{dH}{dt}=+11^{\mathrm{m}}.2452$$

理科年表によれば

		均時差	東京の日入
3 月	16 日	－8$^{\mathrm{m}}$ 49$^{\mathrm{s}}$.1	17$^{\mathrm{h}}$ 49$^{\mathrm{m}}$
	26 日	－5$^{\mathrm{m}}$ 51$^{\mathrm{s}}$.7	17$^{\mathrm{h}}$ 57$^{\mathrm{m}}$
差		＋2$^{\mathrm{m}}$ 57$^{\mathrm{s}}$.4	＋8$^{\mathrm{m}}$

だから、日入時刻の早まりは ＋11.25－2.96＝＋8$^{\mathrm{m}}$.29。これも理科年表の値＋8$^{\mathrm{m}}$ と一致する。結局、日入時刻はおおよそ太陽の赤緯によって決まり、それを均時差が少しく歪めることが分かる。

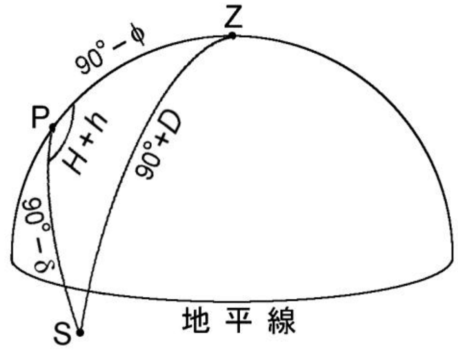

図 5　日暮時の太陽

5. 薄明の長さ

太陽中心が地平線下に伏角 D だけ沈んだときの時角を H＋h とすれば、図 5 より

$$-\sin D=\sin\phi\sin\delta+\cos\phi\cos\delta\cos(H+h) \qquad (7)$$

D が小さければ h も小さいから

$$\cos(H+h)=\cos H\cos h-\sin H\sin h$$

$$\approx\cos H-h\sin H$$

これを（7）へ代入し、（1）を考慮すれば

$$h=\frac{D}{\cos\phi\cos\delta\sin H} \qquad (8)$$

（2）より

$$h=\frac{D}{\cos\phi\cos\delta\sqrt{1-\tan^2\phi\tan^2\delta}}$$

$$=\frac{D}{\sqrt{\cos^2\phi-\sin^2\delta}}$$

（3）より

$$h=\frac{D}{\sqrt{\cos^2\phi-\sin^2\varepsilon\sin^2\lambda}} \qquad (9)$$

$\sin^2\lambda=\frac{1}{2}(1-\cos 2\lambda)$ であるから、h は周期半年の波状曲線になる。

日本では太陽中心の伏角が 7° 21′ 40″ ＝ 7°.3611 になる時刻を日暮の時刻とする（ほぼ市民薄明に相当[5]）から、日入から日暮までの時間を薄明の長さとすれば、それは図 6

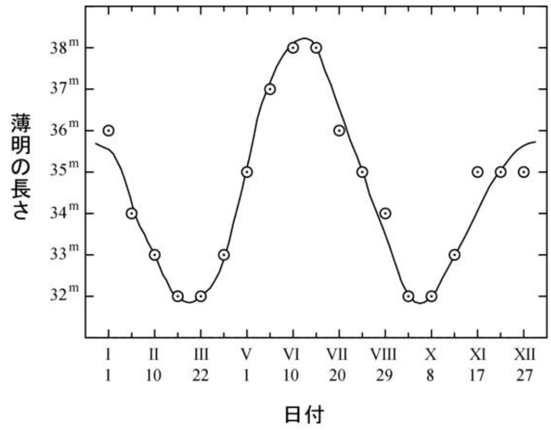

図 6　薄明の長さ曲線（東京）

のように変化する（理科年表による。実線は数値に合うように筆者の引いたもの）。秋分の頃は春分の頃と同じく薄明時間は一年中で最も短いが、それでも平均値 35ᵐ より 3ᵐ 短いにすぎない。

さて（9）によれば、春分（λ＝0º）・秋分（λ＝180º）のとき h=9º.0588=36ᵐ.235、夏至（λ＝90º）・冬至（λ＝270º）のとき h＝10º.388＝41ᵐ.551。

ところで太陽半径と大気差を考慮すると、日入時刻は

$$\Delta H = \frac{3^{m}.33}{\cos\phi \sin H}$$

だけ遅くなる[3]。即ち春分・秋分にはΔH＝4ᵐ.10、夏至・冬至にはΔH＝3ᵐ.50 遅れる。従って春分・秋分の薄明の長さは 36.2－4.1＝32ᵐ.1、夏至・冬至のそれは 41.5－3.5＝38ᵐ.0となる。これは図 6 とほぼ合っている。

6. 日入の角度

図 7 において太陽の半日周孤を QS、QS と鉛直線 ZS とのなす角をθとすれば、∠PSN＝θだから

$$\sin\theta = \frac{\sin\phi}{\cos\delta} = \frac{\sin\phi}{\sqrt{1-\sin^2\varepsilon \sin^2\lambda}} \qquad (10)$$

よってθも図 6 と似た、周期半年の波状曲線となる。

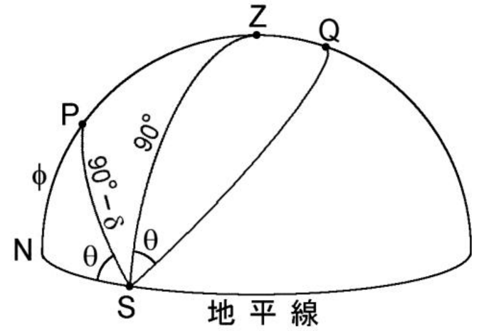

図 7　日入りの角度

春分・秋分にはθ＝φ＝35º 39′、夏至・冬至には

$$\sin\theta = \frac{\sin\phi}{\cos\varepsilon} = 0.63522$$

よりθ＝39º 26′ だから、θの平均値は 37º.5 であり、最小の春分・秋分でも 35º.6 もある。つるべ落とし（θ＝0º）には程遠い。

7. おわりに

というわけで、回答③は誇張ないしは誤りということになる。思うに、秋は日入時刻が日毎に早まって戸外がすぐ暗くなるから、日の長い夏に慣れた身には太陽が「つるべ落とし」、つまり急速に沈むように感ぜられるのであろう。冬至の頃の方が実際は夜が長いのに、「秋の夜長」というのも同じ感覚である。

参考文献

[1]朝日新聞、2006 年 10 月 27 日金曜日朝刊 12 版、25 面
[2]国立天文台編、「2002 年版 理科年表」、丸善、2001
[3]鈴木敬信著、「新天文学通論」、地人書館、1963、p.29
[4]同上書、p.48
[5] 天文・宇宙の辞典編集委員会編「天文・宇宙の辞典」、恒星社厚生閣、1978、 p.459