

調 査

UDC 621.396.346

人工衛星の基礎的軌道要素

沢 路 和 明*

1. 緒 言

人工衛星を利用する通信あるいはその観測のために参考となるように、最も基礎的な軌道要素の計算を行ない図表化したので報告する。

2. 諸 元

図表の計算は次の諸元に基づいている。

地球：静止する完全球体

地球半径：6,370 km

地球表面の重力加速度：9.821 m/sec²

人工衛星軌道：円（ただし第15図～第17図については楕円）

観測の際、大気圏において電波あるいは光の受ける屈折効果は無視する。

3. 記 号

図表の説明図および計算式に用いた主要のものについて記す。

o：地球中心点

r：地球半径

g：地球表面の重力加速度

θ：地球中心角

θ'：軌道面外の任意の観測点において、衛星を観測しうる軌道の範囲；地球中心角

α：方位角

β：仰角

h：人工衛星軌道高度

V：人工衛星軌道速度

P：衛星の公転周期（楕円軌道の場合は $h_{mean} =$

$\frac{h_{max} + h_{min}}{2}$ を与えて求める）

T：観測点が軌道面内にある場合の衛星観測可能時間

T_{β} ：観測点が軌道面内にあり、仰角をとった場合の衛星観測可能時間

$T_{\theta'}$ ：観測点が軌道面外にある場合の衛星観測可能時間

L：斜距離

φ：人工衛星用空中線または反射器ビーム幅

n：人工衛星数

c：地球表面におかれた観測点の位置

e：楕円軌道における離心率

h_{max} ：楕円軌道における衛星の遠地点高度

h_{min} ：近地点高度

h_{mean} ：平均高度

$(r + h_{max})$ ：遠地点距離

$(r + h_{min})$ ：近地点距離

4. 計 算 式

各図表に掲げた説明図参照

第1図 $L = \sqrt{(h+r)^2 - r^2}$ (1)

第2図 $h = r\{\sin \theta \cdot \tan(\theta + \beta) + (\cos \theta - 1)\}$ (2)

第3図 $\beta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left\{ \frac{(r+h)\sin \theta}{(r+h)\cos \theta - r} \right\}$ (3)

第4図 $2R = 2\theta_{rad}r$ あるいは $2R \doteq 2\theta^{\circ} \times 111.111$ (km) (4)

θ：(2)式、β, h あるいは(3)式、β, h

第5図 $n = \frac{2\pi}{2(\theta - \theta_1)} = \frac{\pi}{(\theta - \theta_1)}$ (5)

$\theta = \cos^{-1} \frac{r}{(r+h)}$ (rad)

$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{r}{(r+h_1)}$ (rad)

第6図 $V = r\sqrt{\frac{g}{(r+h)}} = \frac{2.272583183 \times 10^6}{(6,370 + h_{(km)})^{1/2}}$ (km/hr) (6)

* 企 画 課

$$\left. \begin{array}{l} \text{第7図} \\ \text{第8図} \end{array} \right\} P = \frac{2\pi(r+h)}{r\sqrt{\frac{g}{(r+h)}}} = 2.763(6, 370) \\ + h(\text{km})^{3/2} \times 10^{-6} \text{ (hours)} \quad (7)$$

$$\text{第9図} \quad T = \frac{\widehat{AE}}{V} \quad (8)$$

$$\widehat{AE} = 2\theta_{\text{rad}} (r+h)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{r}{r+h} \right) \text{ (rad)}$$

V : (6) 式, h あるいは第6図

$$T_{\beta} = \frac{\widehat{A'E'}}{V} \quad (9)$$

$$\widehat{A'E'} = 2\theta_{\text{rad}} (r+h)$$

θ : (2), (3) 式あるいは第2図, 第3図, β, h

V : (6) 式, h あるいは第6図

$$\text{第10図} \quad T_{\theta'} = \frac{2\widehat{AD}}{V} \quad (10)$$

$$\widehat{AD} = \theta'_{\text{rad}} (r+h)$$

$$\theta' = \cos^{-1} \frac{r}{(r+h)\cos\theta} \text{ (rad)}$$

V : (6) 式, h あるいは第6図

$$\left. \begin{array}{l} \text{第11図} \\ \text{第12図} \end{array} \right\} 2R = 2\theta_{\text{rad}} r \quad \text{あるいは} \quad 2R \doteq 2\theta^{\circ} \times 111.111 \\ \text{(km)}$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \left\{ \frac{\phi}{2} + \cos^{-1} \left(1 + \frac{h}{r} \right) \sin \frac{\phi}{2} \right\} \quad (11)$$

$$\text{第13図} \quad 2\alpha = 2 \cos^{-1} \left[\frac{r}{\{(r+h)^2 - r^2\}^{1/2}} \cdot \tan \theta \right] \quad (12)$$

$$\text{第14図} \quad 2\theta' = 2 \cos^{-1} \left\{ \frac{r}{(r+h) \cos \theta} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{第15図} \\ \text{第16図} \\ \text{第17図} \end{array} \right\} e = \frac{(r+h_{\text{max}}) - (r+h_{\text{min}})}{(r+h_{\text{max}}) + (r+h_{\text{min}})} \quad (14)$$

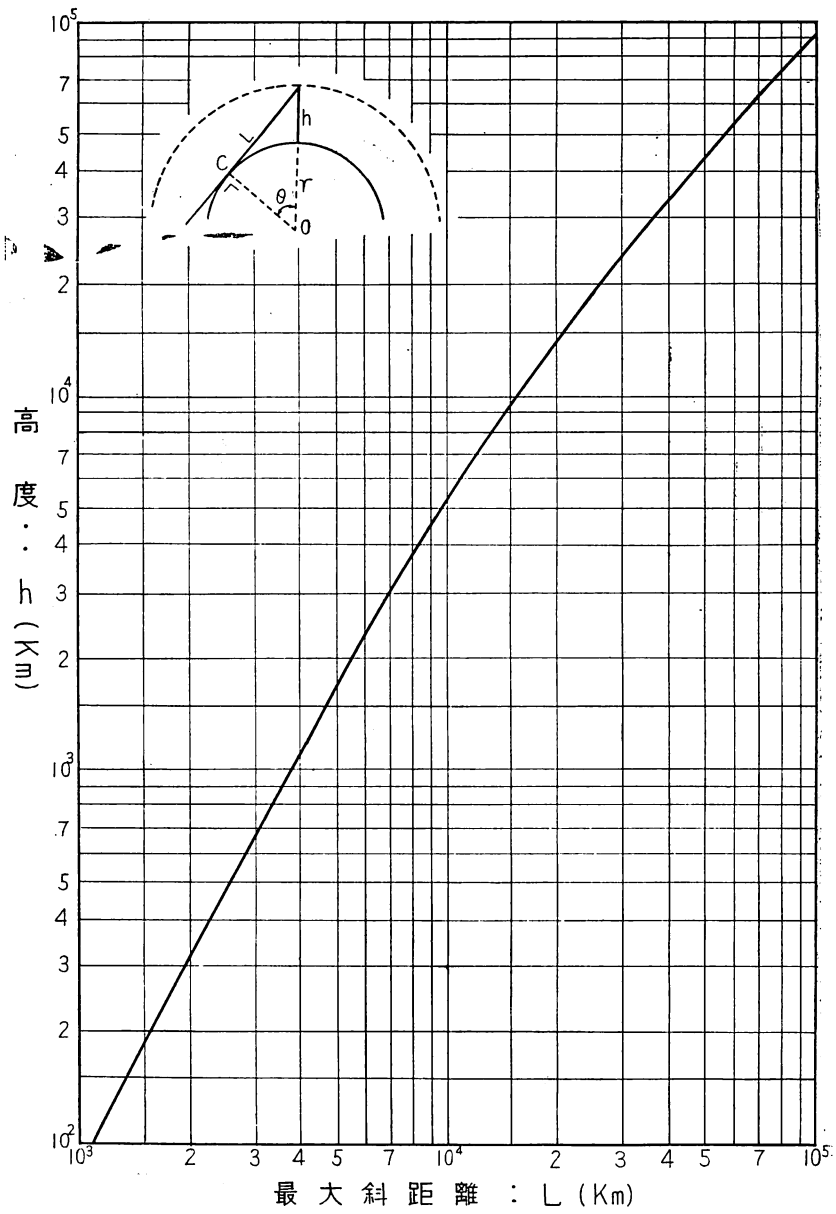
$$(r+h_{\text{max}}) = \frac{(r+h_{\text{min}})(e+1)}{(1-e)}$$

$$h_{\text{max}} = \frac{(r+h_{\text{min}})}{(1-e)} (1+e) - r$$

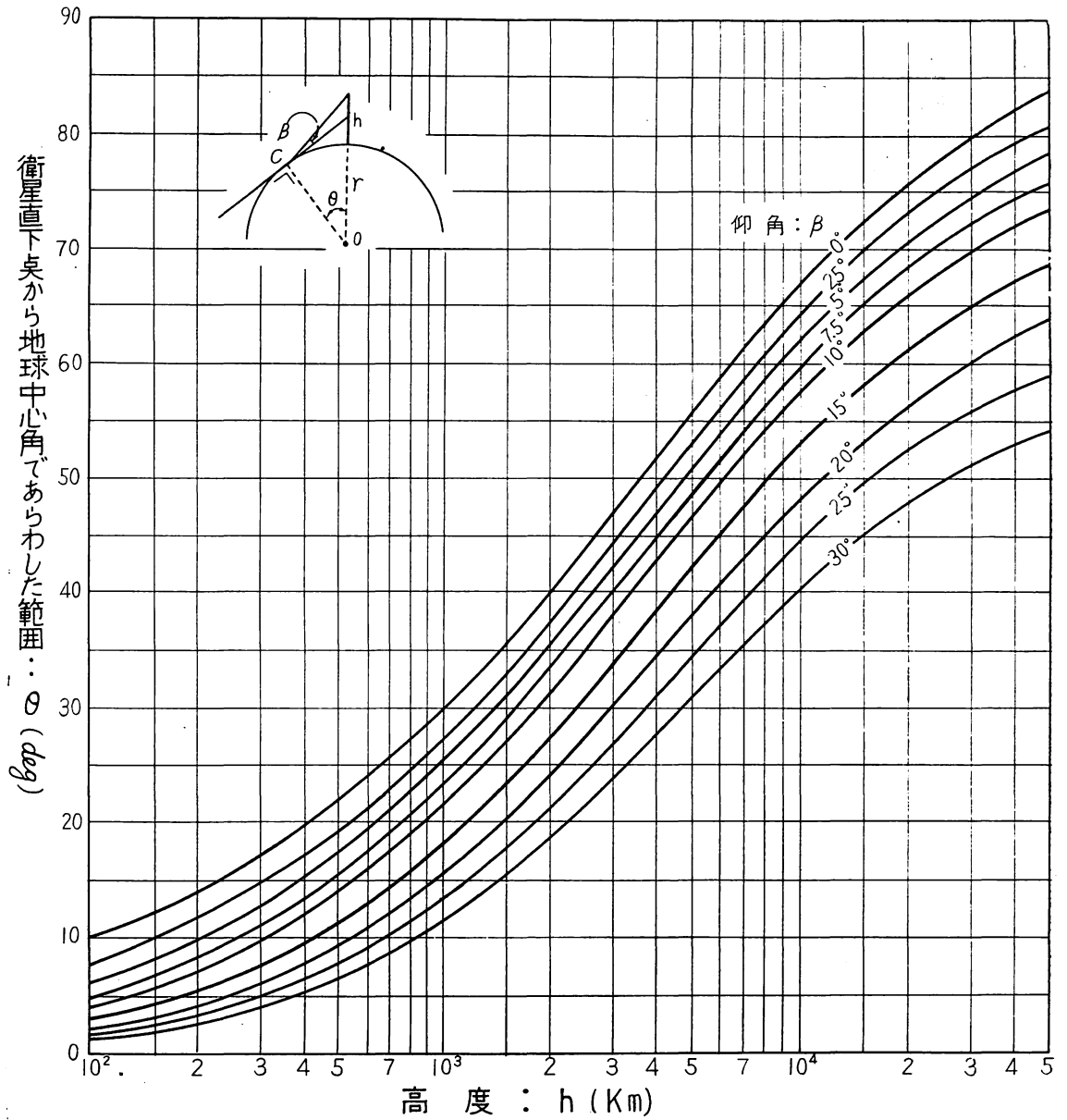
あ と が き

以上, 主として人工衛星の円軌道要素に関して最も基礎的な図表を報告したが, 実際の衛星は打ち上げの確度に関係し, 地球の形, 重力, 自転および大気の抵抗などの影響を受け, その軌道を予測することは極めて複雑である。この図表が人工衛星通信あるいはその観測のために役立つは幸いである。

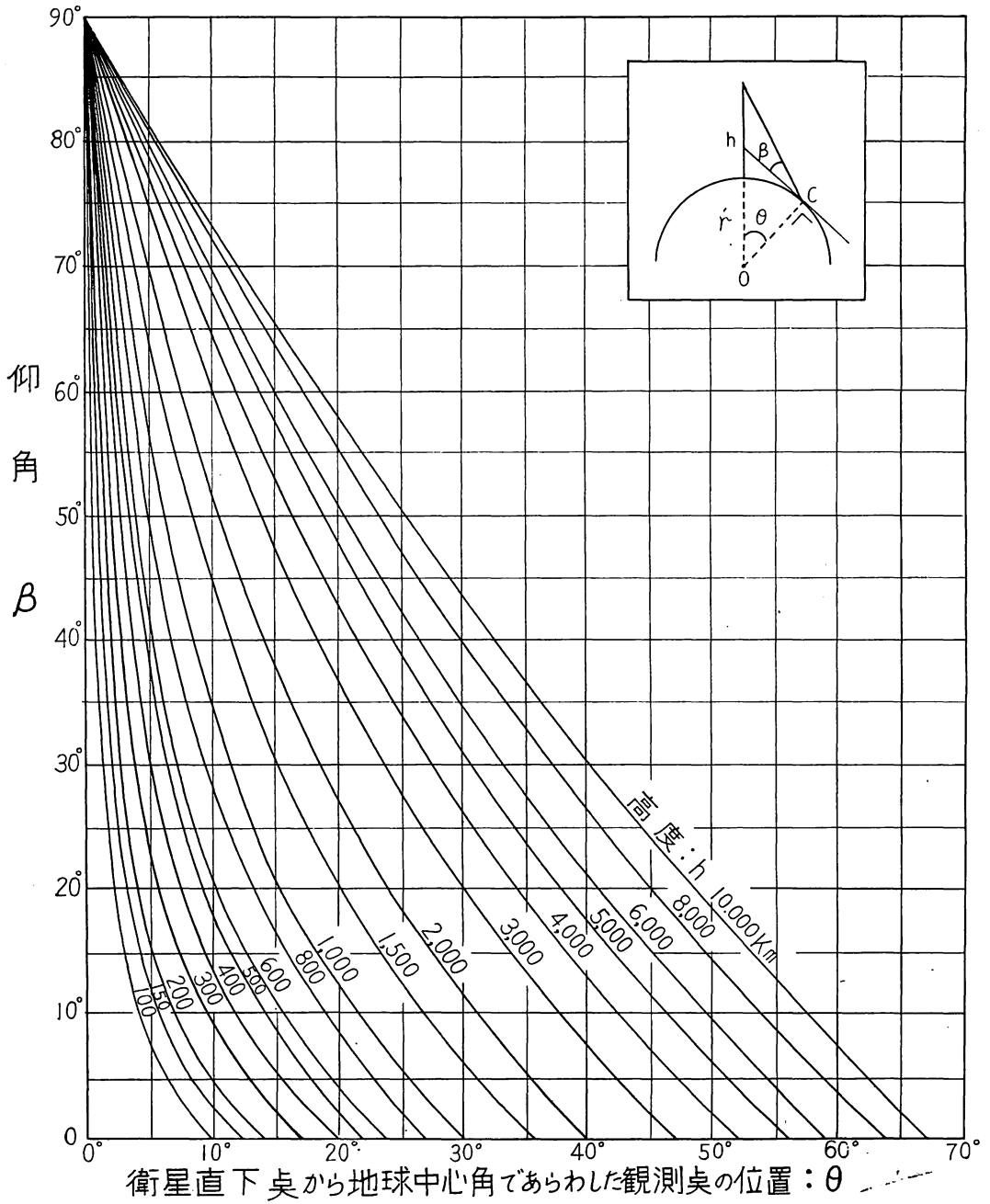
この報告に当り, 上田所長, 藤木次長, 糟谷企画課長, 田尾主任研究官および浅井調査係長から指導をいただいた。計算および図表の作成に当っては, 企画課斎藤嬢から多大の協力を得た。以上の方々に謝意を表する。



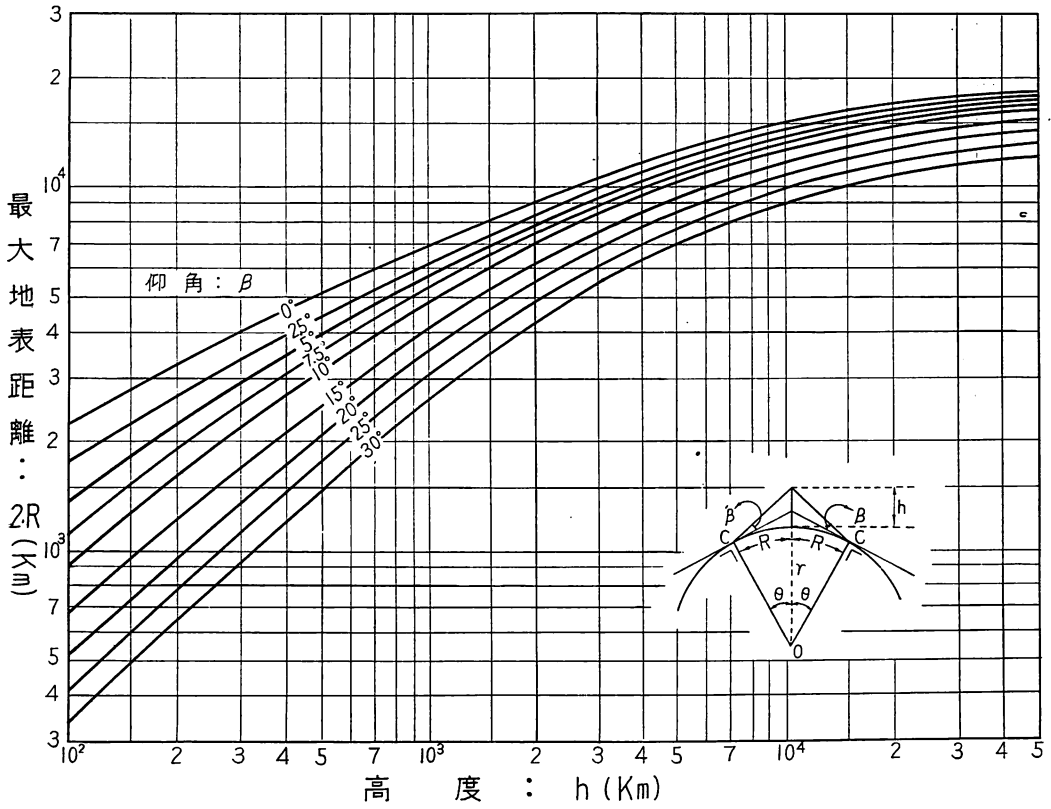
第1図 人工衛星高度と最大斜距離との関係



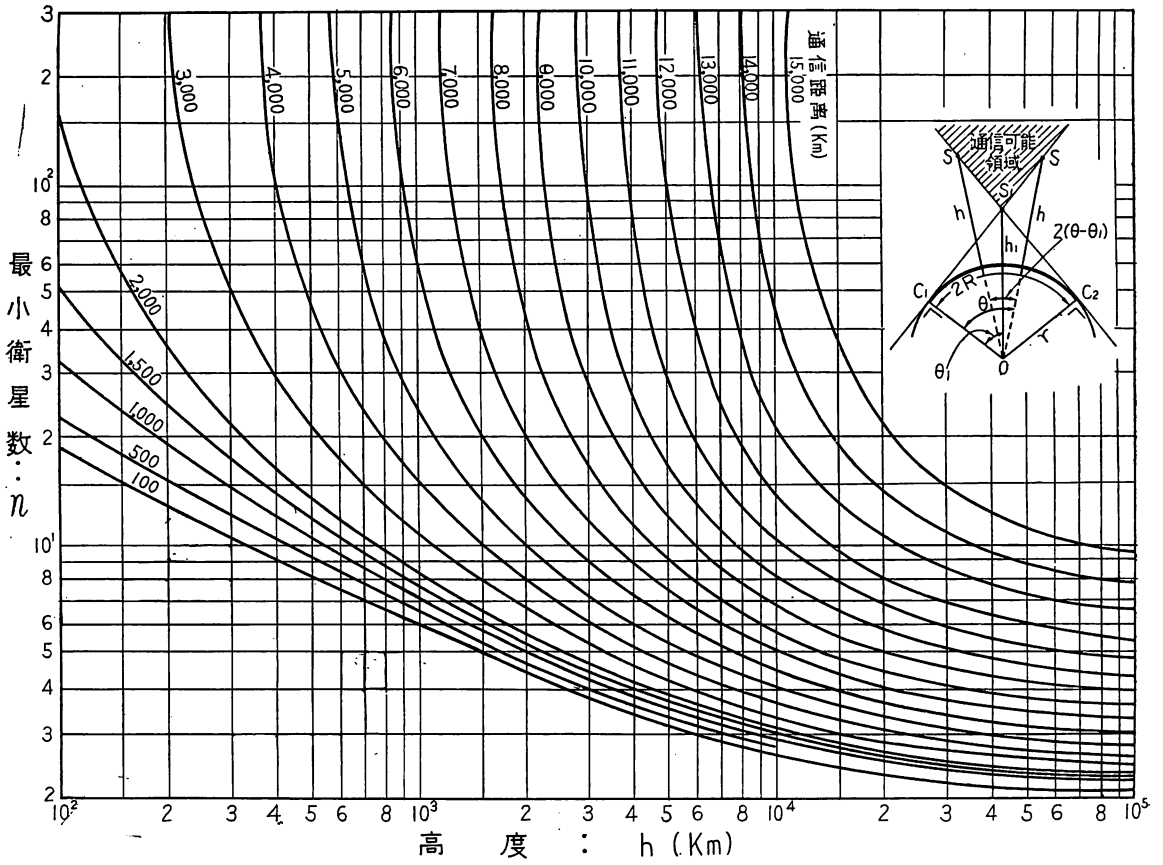
第2図 任意の観測点において仰角を制限した場合、衛星高度とその衛星を観測しうる範囲: 地球中心角



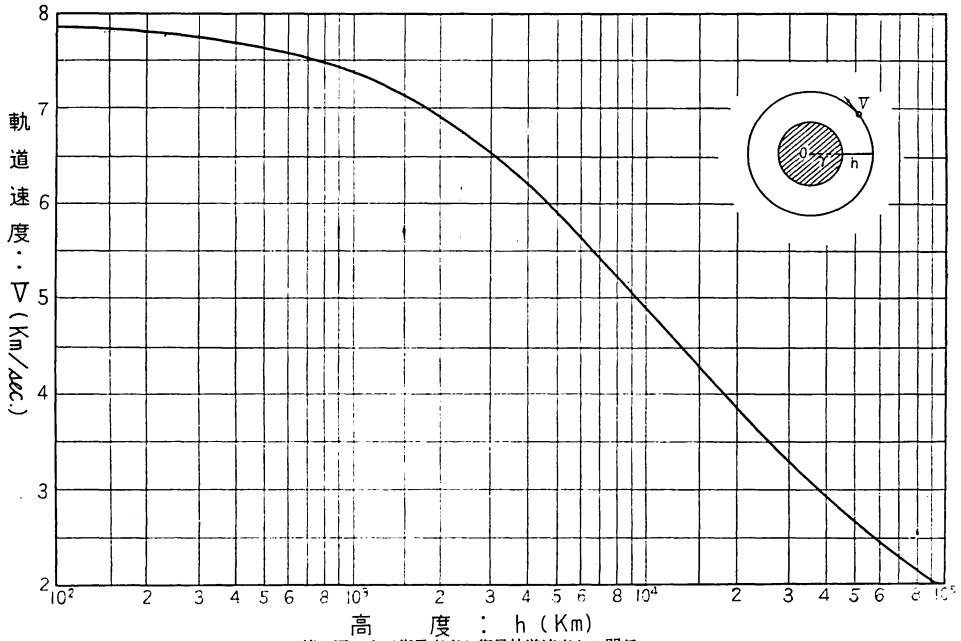
第3図 人工衛星高度と任意の観測点における仰角との関係



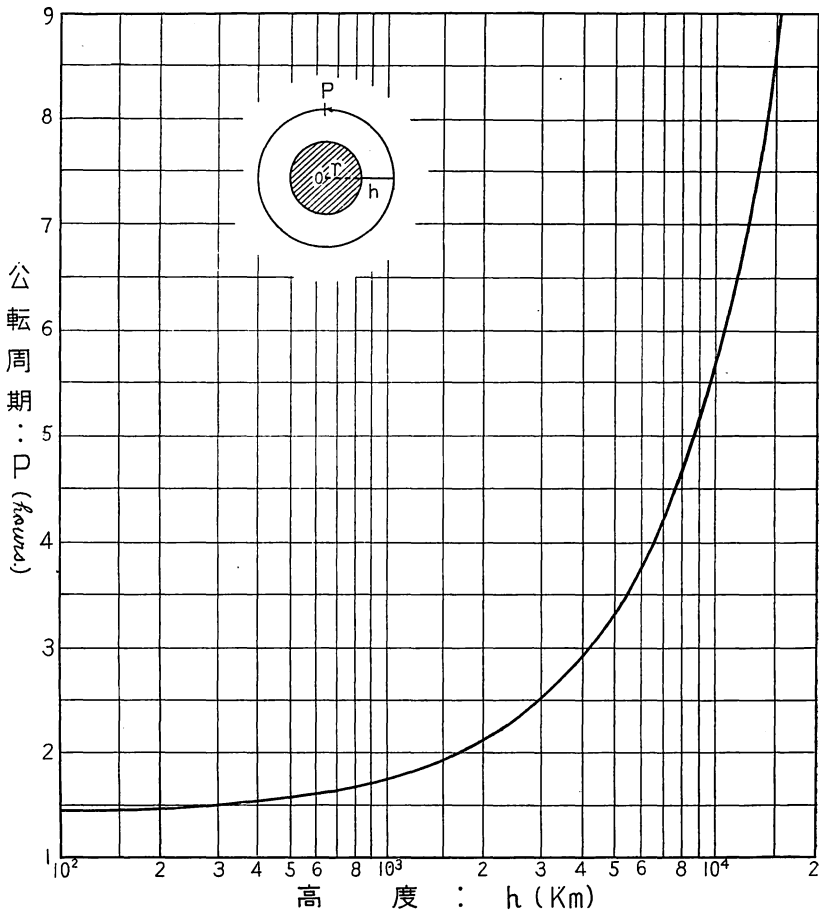
第4図 任意の観測点において仰角を制限した場合、衛星高度とその衛星を観測しうる範囲の大円



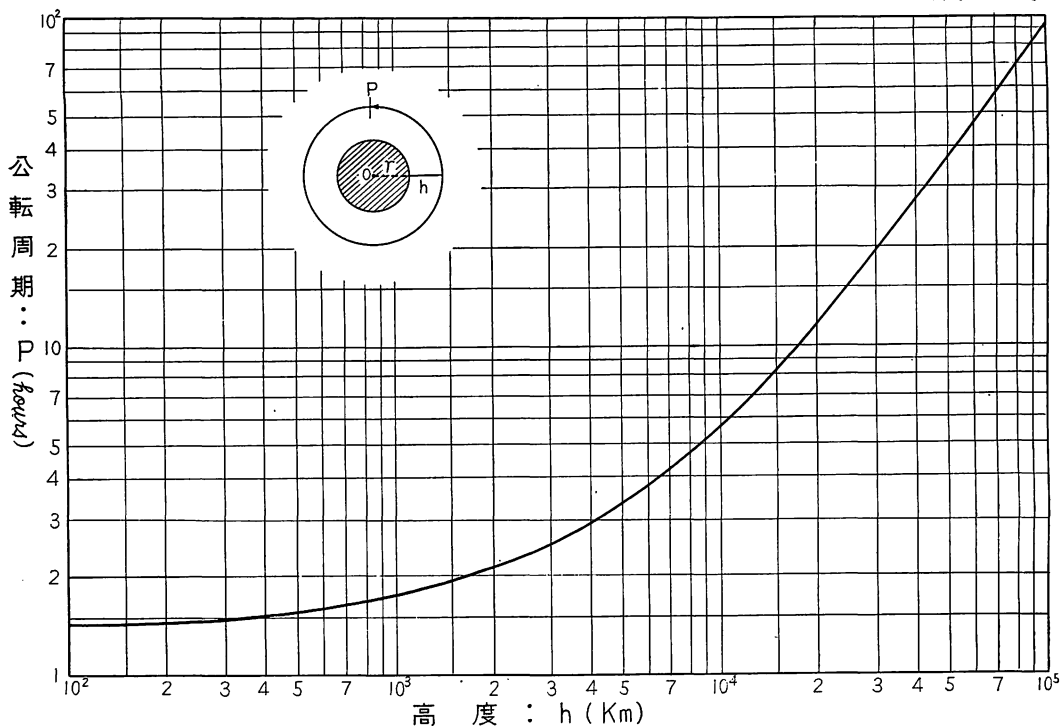
第5図 人工衛星を利用して、地球上の2点が中断することのない通信をおこなうために必要な最小衛星数
(ただし、衛星は等間隔で、地球上の2点を含む大円面内にあるものとする)



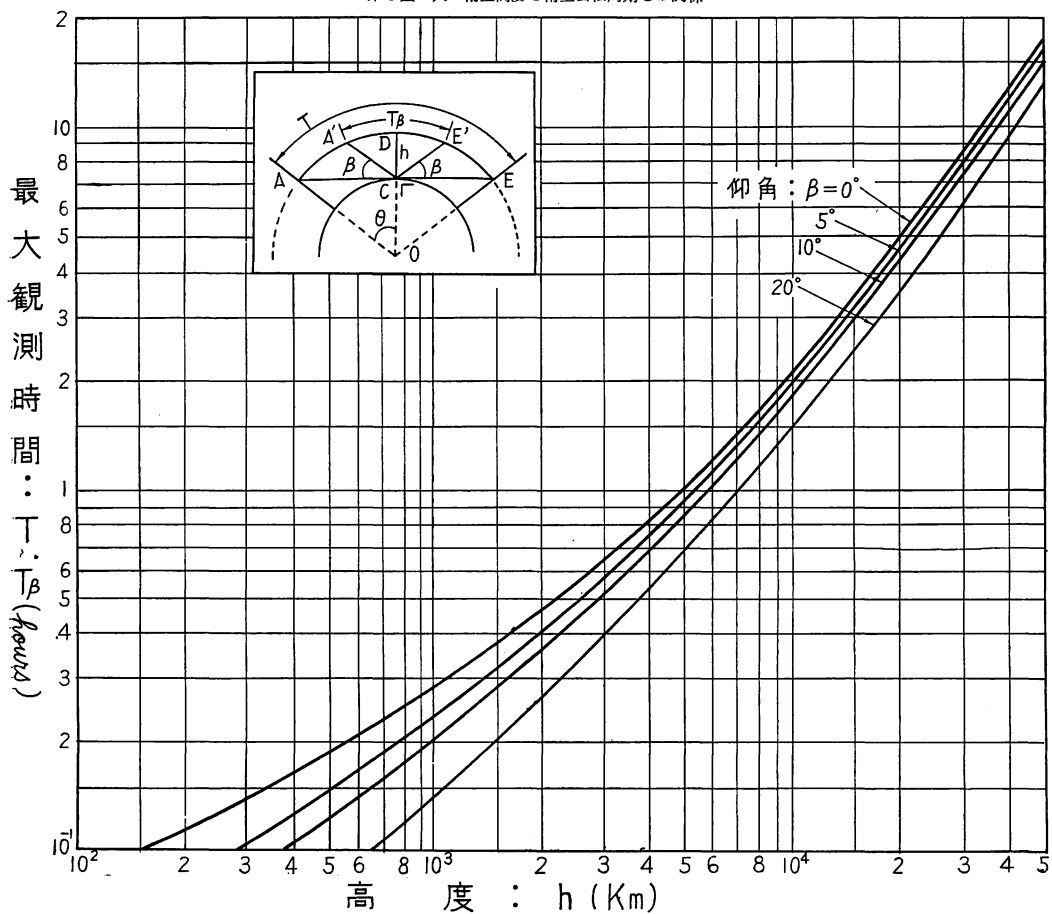
第6図 人工衛星高度と衛星軌道速度との関係



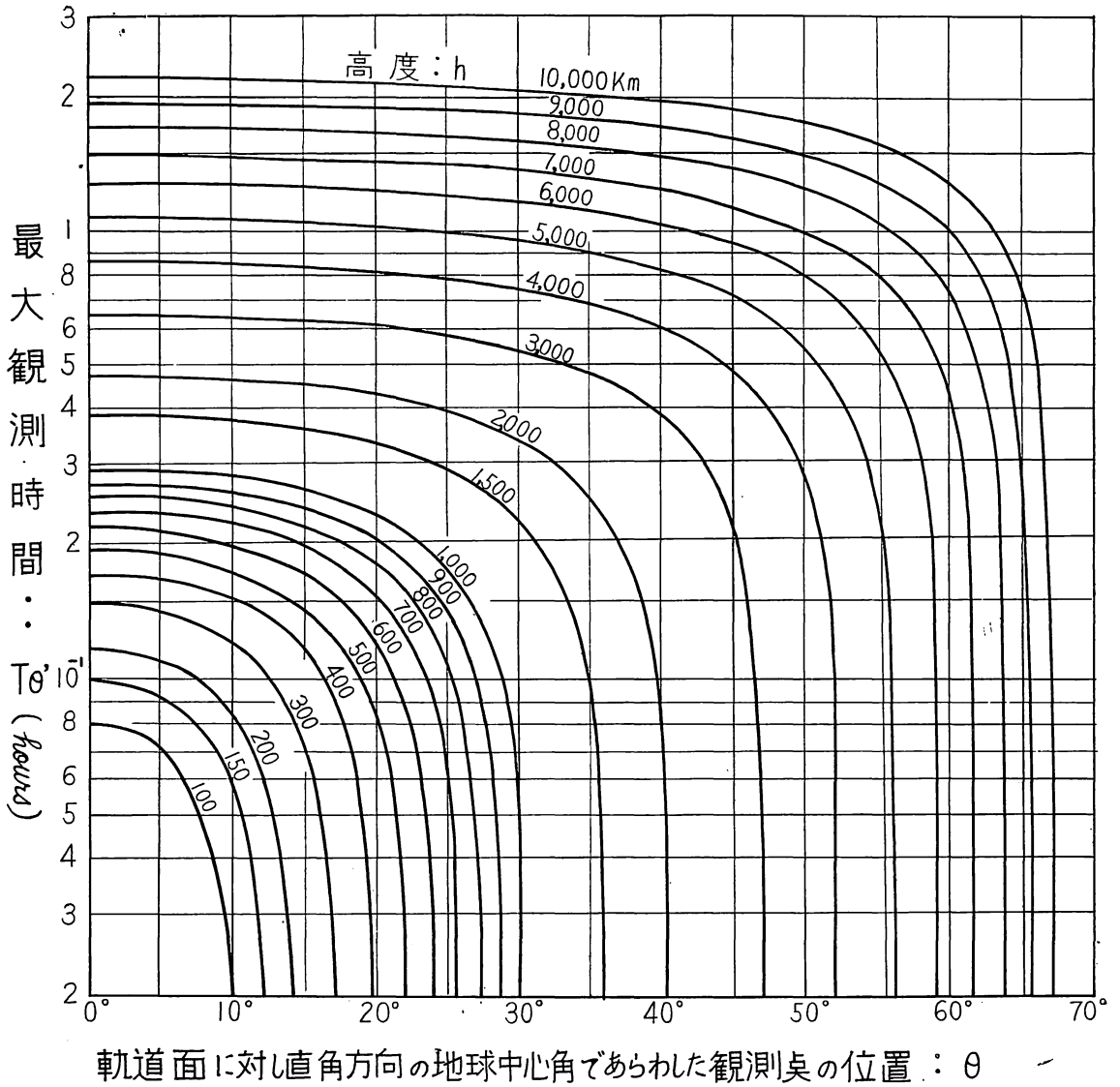
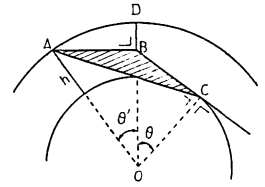
第7図 人工衛星高度と衛星公転周期との関係



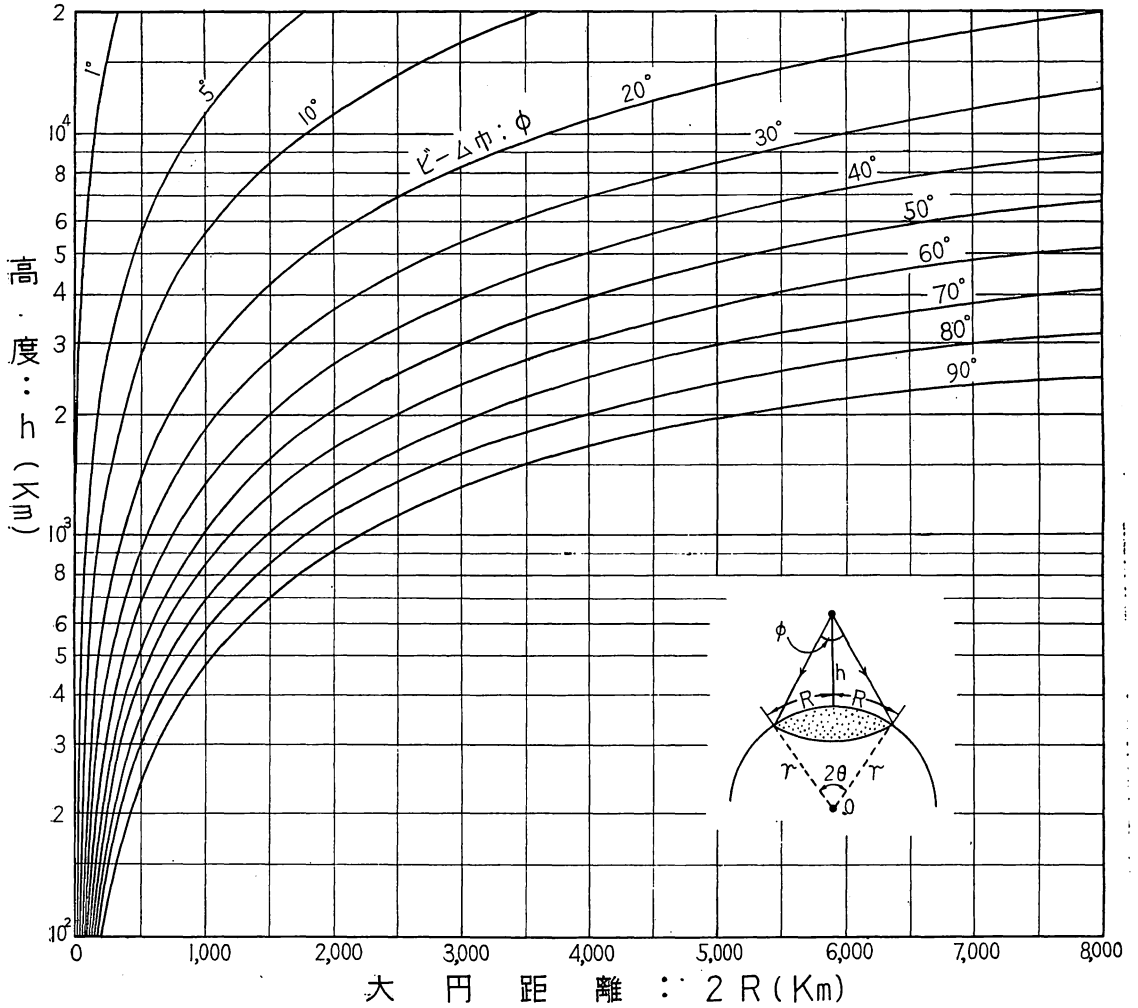
第8図 人工衛星高度と衛星公転周期との関係



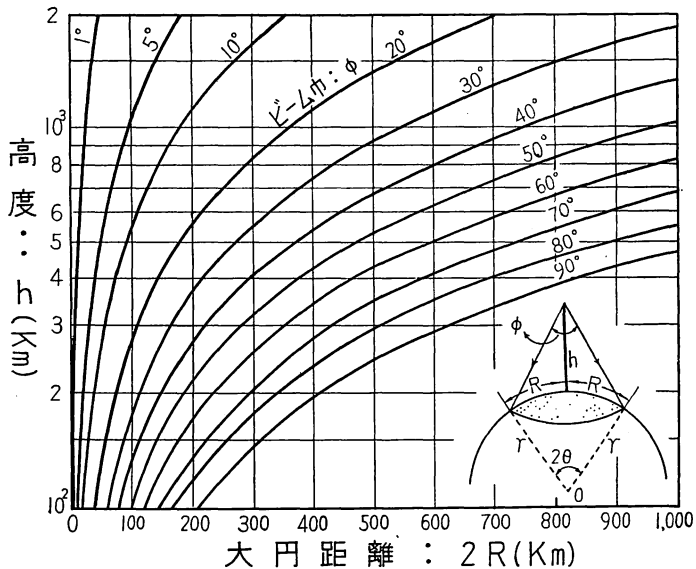
第9図 人工衛星高度と衛星赤道面内の観測点における仰角に対する衛星の最大観測可能時間



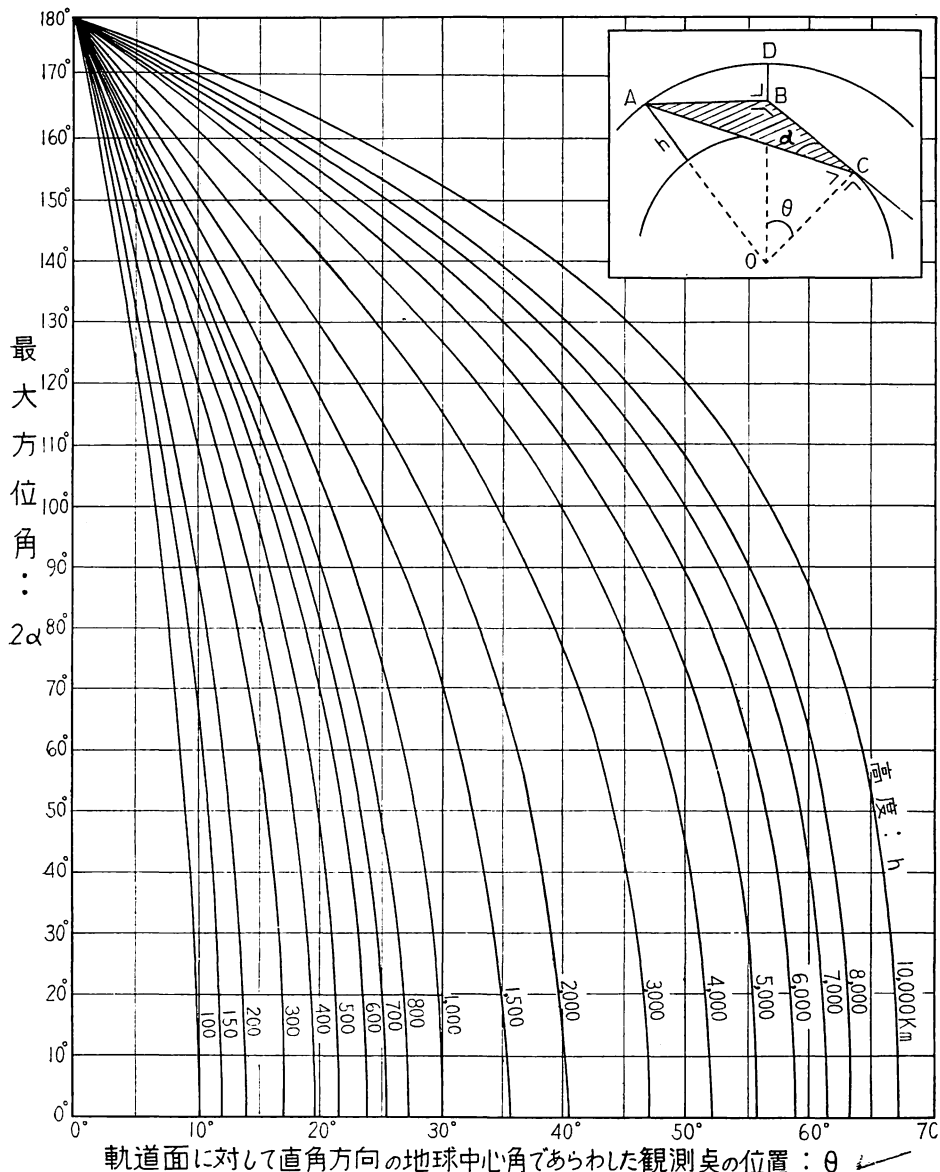
第10図 人工衛星高度と地球上の任意の観測点においてその衛星を観測しうる最大時間
(観測点における仰角 $\beta=0^\circ$)



第11図 人工衛星用空中線(または反射器)ビームが照射する地球表面領域の大円

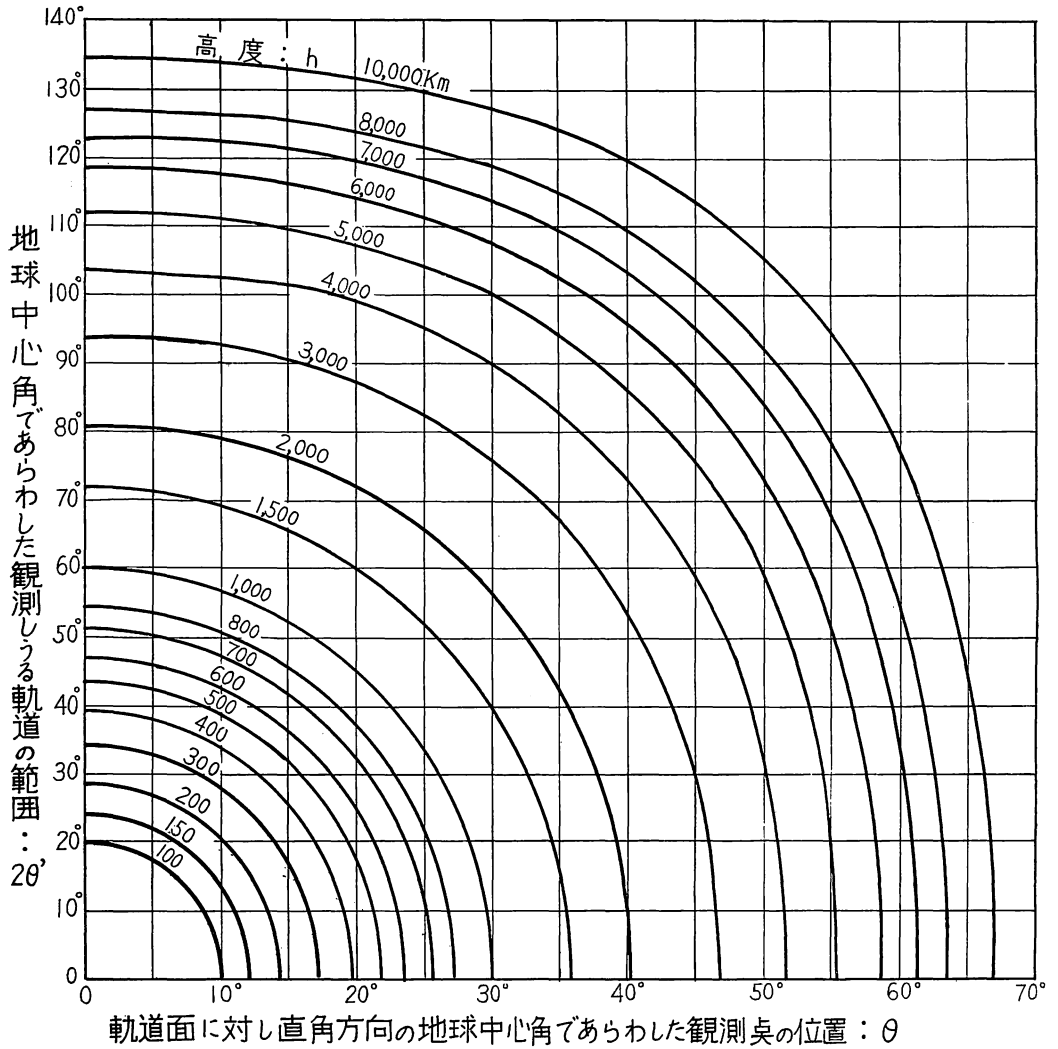
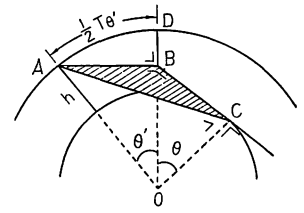


第12図 人工衛星用空中線(または反射器)ビームが照射する地球表面領域の大円

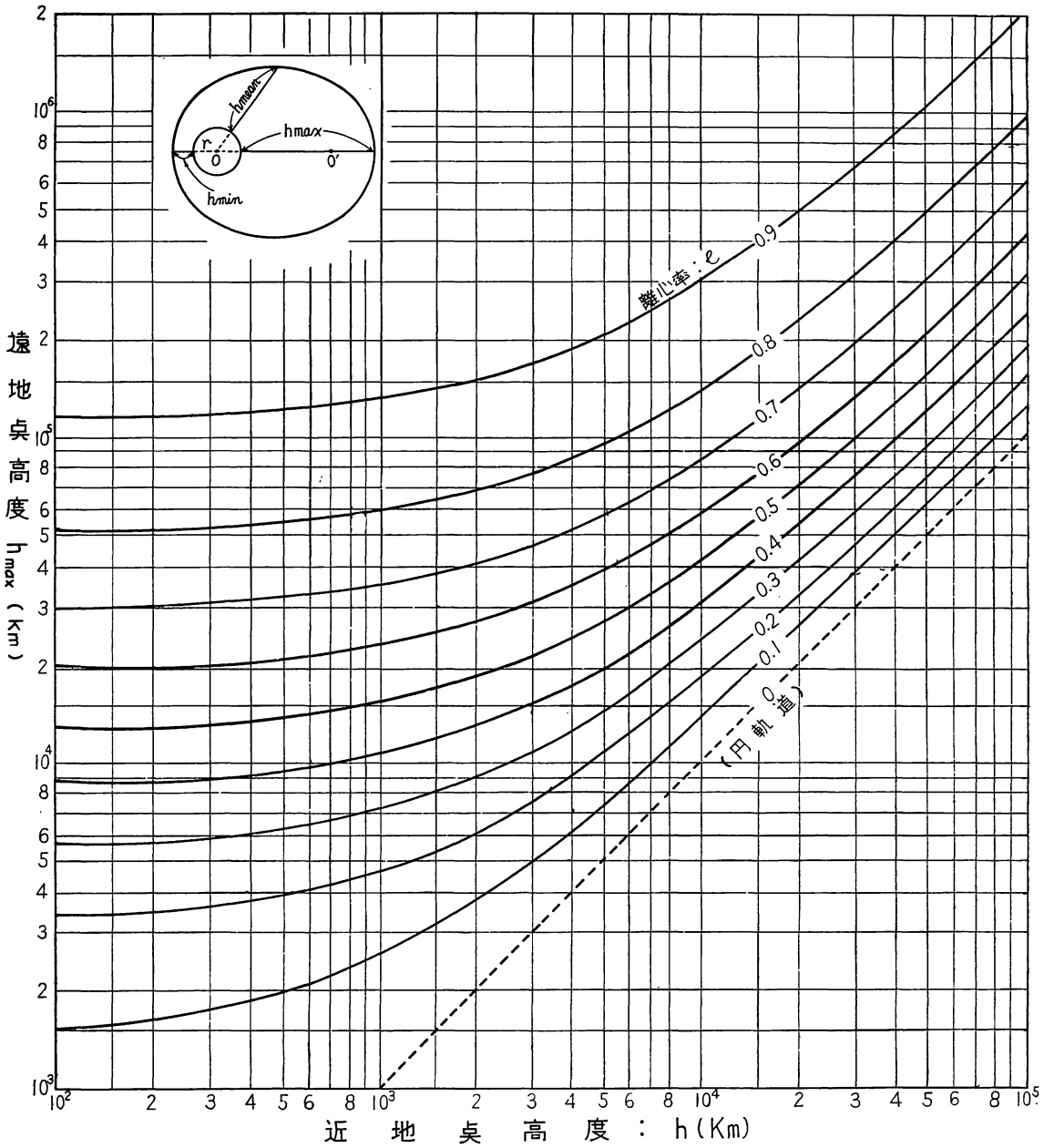


軌道面に対して直角方向の地球中心角であらわした観測点の位置： θ

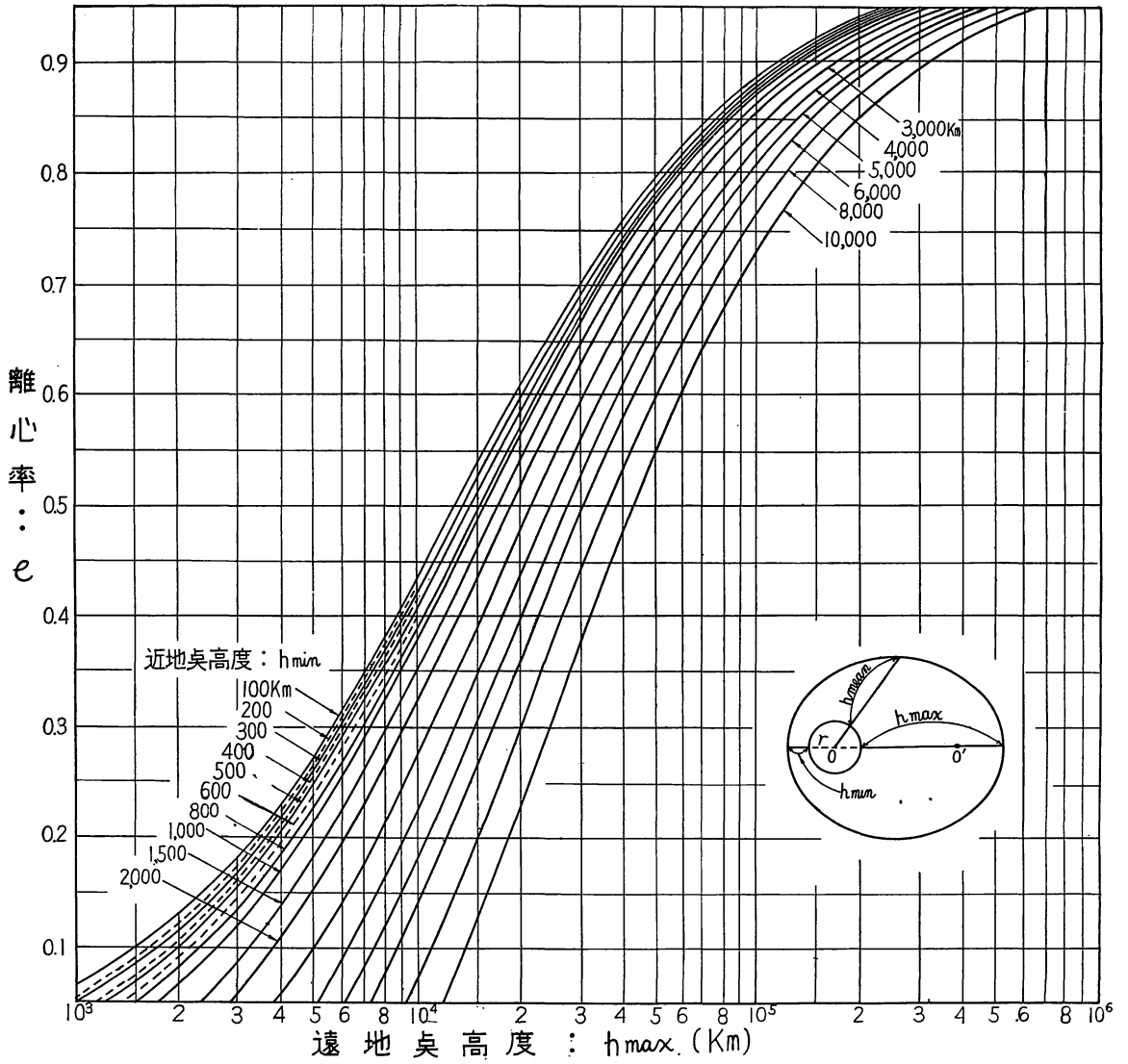
第13図 人工衛星の軌道面外にある地球上の任意の観測点において、その衛星を観測しうる最大方位角
 (観測点における仰角： $\beta=0^\circ$)



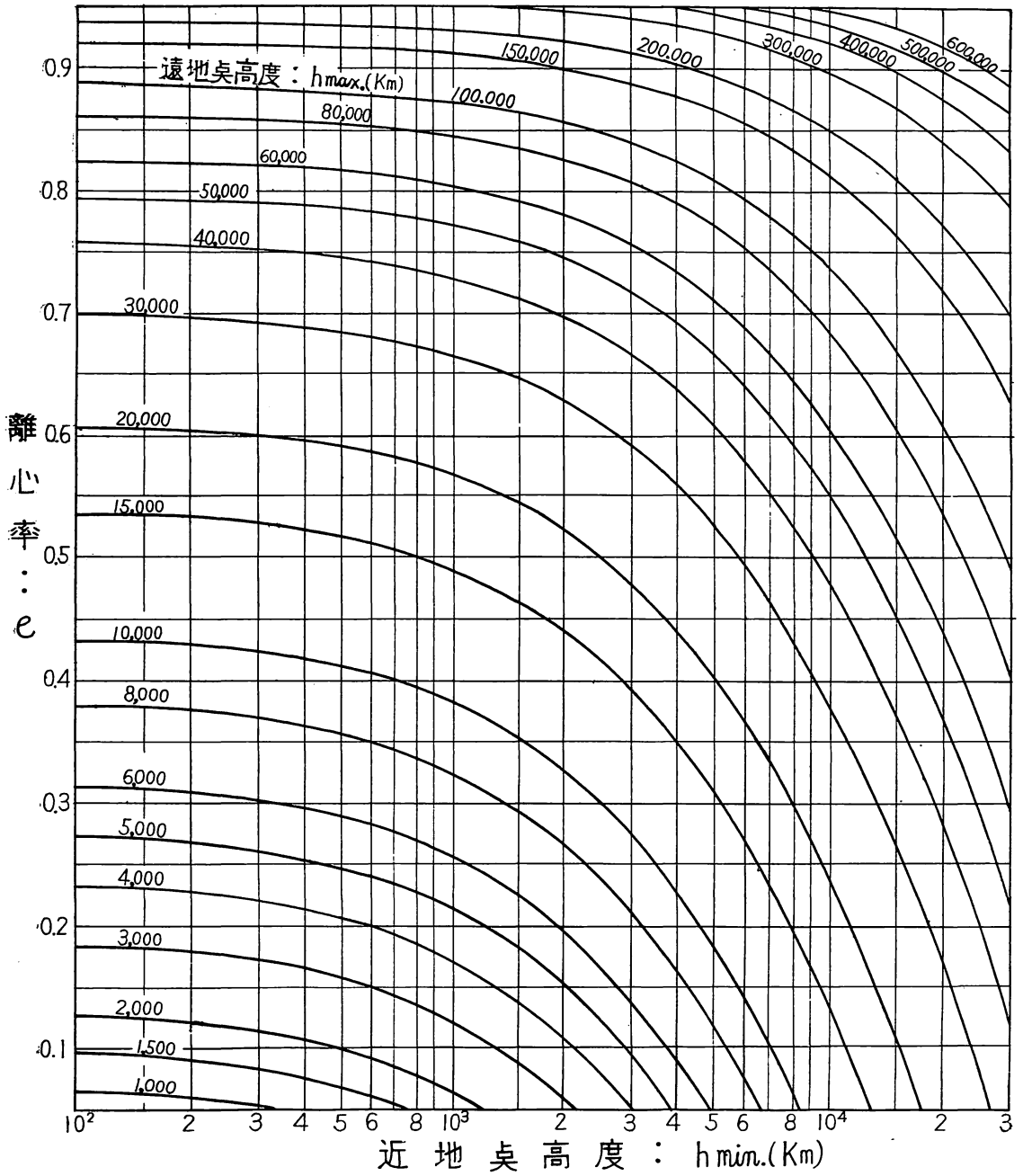
第14図 人工衛星の軌道面外にある地球上の任意の観測点において、その衛星を観測しうる軌道の範囲：
地球中心角（観測点における仰角： $\beta=0^\circ$ ）



第15図 楕円軌道における近地点高度、離心率および遠地点高度との関係



第16図 楕円軌道における遠地点高度, 近地点高度および離心率との関係



第17図 楕円軌道における近地点高度，遠地点高度および離心率との関係