

TR-O-0004

衛星間通信に際しての
地球大気分子による吸収の計算

水島正喬

1988年 8月

11

概要

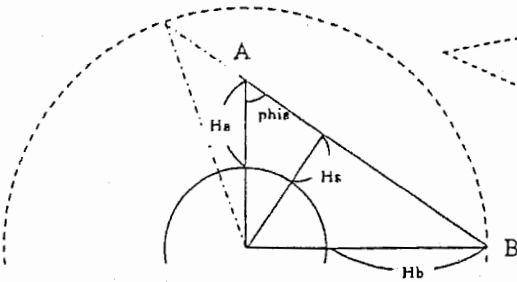
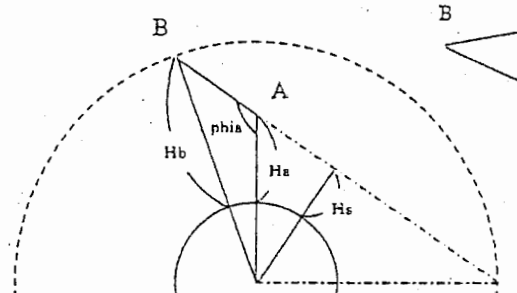
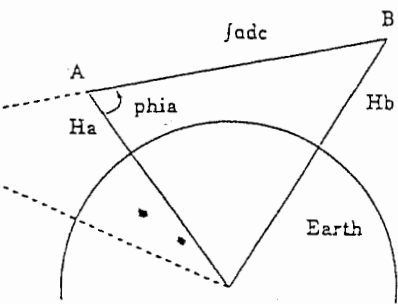
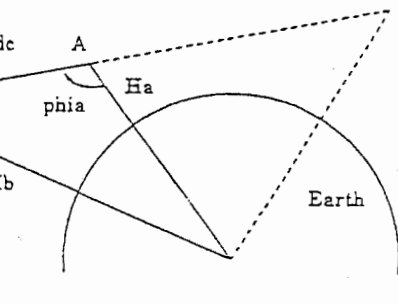
本報告書は、筆者が昭和63年5月から昭和63年8月の間、ATR光電波通信研究所無線通信第一研究室において客員研究員として行った、衛星間通信に際しての地球大気分子による吸収の計算についてまとめたものである。

本研究期間中に作成したprogram 'WATOXB' は、地球表面上の任意の二点間を伝搬する電磁波の地球大気分子の吸収による減衰を振動数の関数として計算する。振動数は20THzまで正確に、45THzまで大体計算出来る。高度100km以上には分子が存在しないと仮定してある。

ATR Optical and Radio Research Laboratories

ATR光電波通信研究所

正誤表

ページ	訂正箇所	正	誤
1.	上から7行目	<p>$\cos(\text{phia})$の正負で</p>	<p>phiaの正負で</p>
		<p>CASE 1 ($\cos(\text{phia}) > 0$) A and B are on different sides of the shortest height (H_s).</p>  <p>CASE 2 ($\cos(\text{phia}) < 0$) A and B are on the same sides of the shortest height (H_s).</p> 	<p>CASE 1 ($\text{phia} > 0$)</p>  <p>CASE 2 ($\text{phia} < 0$)</p> 
2.	上から11行目	自然界での $^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ の $^{16}\text{O}_2$ に対する	自然界での $^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ に対する
	下から12行目	H_2^{16}O については	H_2^{18}O については
	下から10行目	分子は H_2^{18}O と	分子は H_2O と

目次

1) programのinput, output1
2) US Standard Atmosphere2
3) 分子とその吸収2
4) 湿度3
5) 計算の効用3
6) 次期計画3
参考文献4
資料1 US Standard Atmosphere5
資料2 計算例6

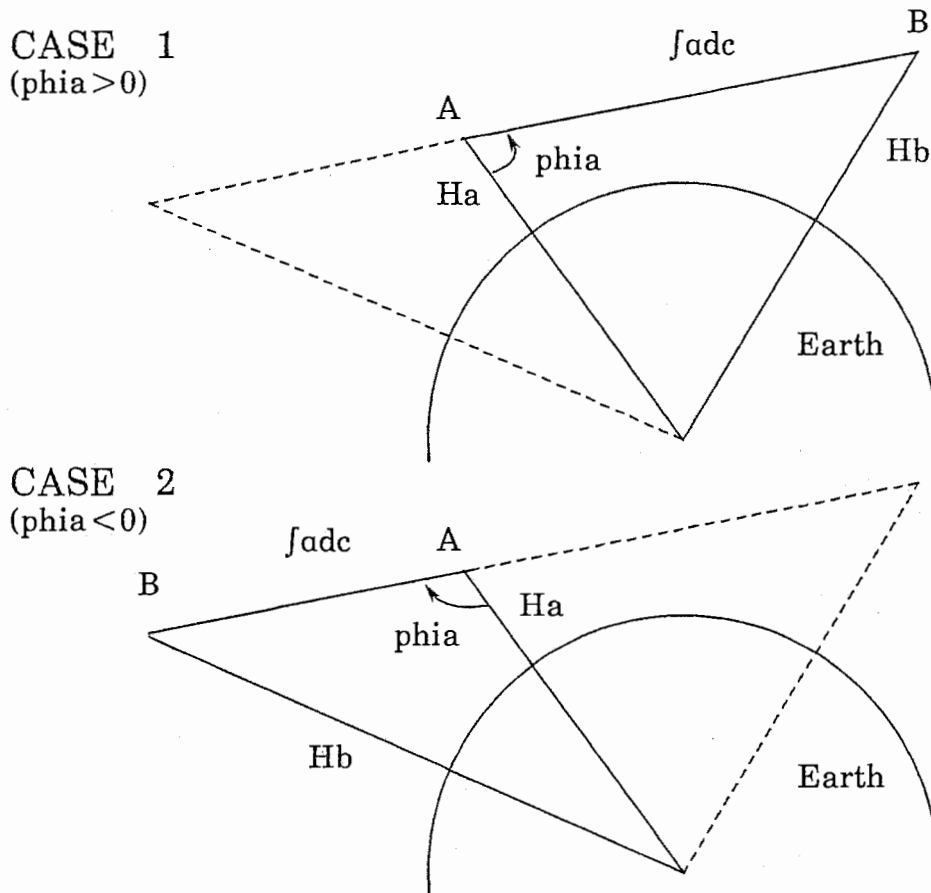
1) programのinput output.

Input

- ・電波の振動数範囲 : $FRIT + FRTV$ から $FRIT + IFLT * FRTV$ (単位はGHZ)
($IFLT=1$ とすれば振動数は $FRIT + FRTV$ に固定される。)
- ・ H_a と H_b (単位はkm) : 2点A, Bの高度。ただし、 $H_a < H_b$
- ・ phia (単位はradian) : 点Aから点Bを見たときの地軸に対する角度。
 phia の正負でCASE 1, CASE 2にわかれる。

Output

- ・減衰度 \int_{adc} : c は電波のpath, 積分はAからBまで。
電波の強度のA点での初期値が I_0 ならB点での強度は $I_0 \exp(-\int_{adc})$ となる。
もしpathが地表に当たる場合は“Beam hits the ground”と出る。
もしpathが地上100kmまで到達しない時は“No absorption”と出る。



2) US Standard Atmosphere.

高度100kmまでの温度・気圧・分子組成についてはUS Standard Atmosphereを使う。この際地球及びその大気は球対称とするから電波の吸収は高度のみの関数である。100km以上ではH₂Oも含めて分子は存在しないと仮定してある。

3) 分子とその吸収.

図1にUS Standard Atmosphereの分子組成を示す。

N₂は双極子を持たないので赤外・可視を通じて電磁波との交渉は無い。(電気4重極の弱い吸収は無視した。)

O₂は磁気双極子があって回転が60,120,...GHzの吸収をもたらす(1)。図2の計算例では回転量子数50まで考慮しているが、同位体分子は¹⁶O₂のみ考慮してある。自然界での¹⁸O¹⁶Oに対する存在比は0.2%である。また振動励起状態は考慮していない。(振動数は47THzだから300Kでは振動励起状態の存在比は0.05%) 然しそれ等の分子定数は既にprogramに入っていてactivateする事は容易である。O₂の振動による電波の吸収は見つかっていない。あるとしても極めて弱いと思われるので今の計算では無視した。Pressure broadeningについてはcomplete Lorentzianを仮定し、width parameterはmicrowaveではLiebeの測定値(2)を、infrared (IR) ではZink & Mizushimaの測定値(3)を使った。

H₂¹⁸Oについては23parameterの知られている最も正確なHamiltonianを使って回転レベルを計算し、電気双極子は回転量子数によらないと仮定した。同位体分子はH₂OとHD¹⁶Oがprogramにはいっているが、計算例の図2ではactivateされて無い。(Dの存在比はHの0.0015%) 図2では回転量子数16までで振動は考慮されていない。48THz以上では振動励起を考慮しなければならない。(主な振動は48THz, 110THz, と160THz) 振動状態のHamiltonianは別のcomputer programとして存在するが、今のprogramにmergeされていない(4)。Pressure broadeningについてはcomplete Lorentzianを仮定し、width parameterはLiebeのmicrowaveでの測定値(2)を使った。

CO₂が100kmまでは0.03%程の濃度で、それより上ではもっと少ない濃度で存在する。この分子の回転励起には電波は関与しないが20THzと70THzの振動は電波を吸収して励起される。いずれの場合もHamiltonianは簡単だが20THzの時の

分子定数は文献(5)にあり、70THzの為のそれは文献(6)に記載されており我々の program に入っている。70THzの振動回転遷移での強度と pressure broadeningのparameterはJohnsによって測られた(7)。結果はprogramに入っている。彼は20THzのそれ等も測ったが、現在はpreprintのみあってpaperにはなっていないのでこのprogramには入っていない。従ってこのprogramは20THz以上ではその為の不確定性がある。

Ar, Ne, He等も大気中にあるが、これらは紫外部に至って始めて電波と相互作用する。然し130km以上ではCOとNOを考慮する必要があるかも知れない。

最近分子のIRでのスペクトル線の強度と pressure broadeningのparameterとが表になった(8)。programにある分子定数をこの表と比較検討する必要がある。

高い振動数ではLorentzianより計算の複雑なVoigt profileをスペクトル線の形として計算しなければならない。それは未だprogramに入れてない。

4) 湿度.

H₂OがIRの主な吸収源であるからH₂Oの大気中の分布についての知見が大切である。このprogramでは0から20km (tropopause) までU. S. Standard Atmosphereに従ってH₂Oの飽和蒸気圧を計算して入れてある。それに湿度 (Humidity) を掛けたものがH₂Oの分圧 (partial pressure) になる。湿度は高度の関数として入れる事が出来るが、図2の例では恒数0.10としてある。20km以上ではいまのprogramではH₂Oの分圧は恒数1E-05としてある。

5) 計算の効用.

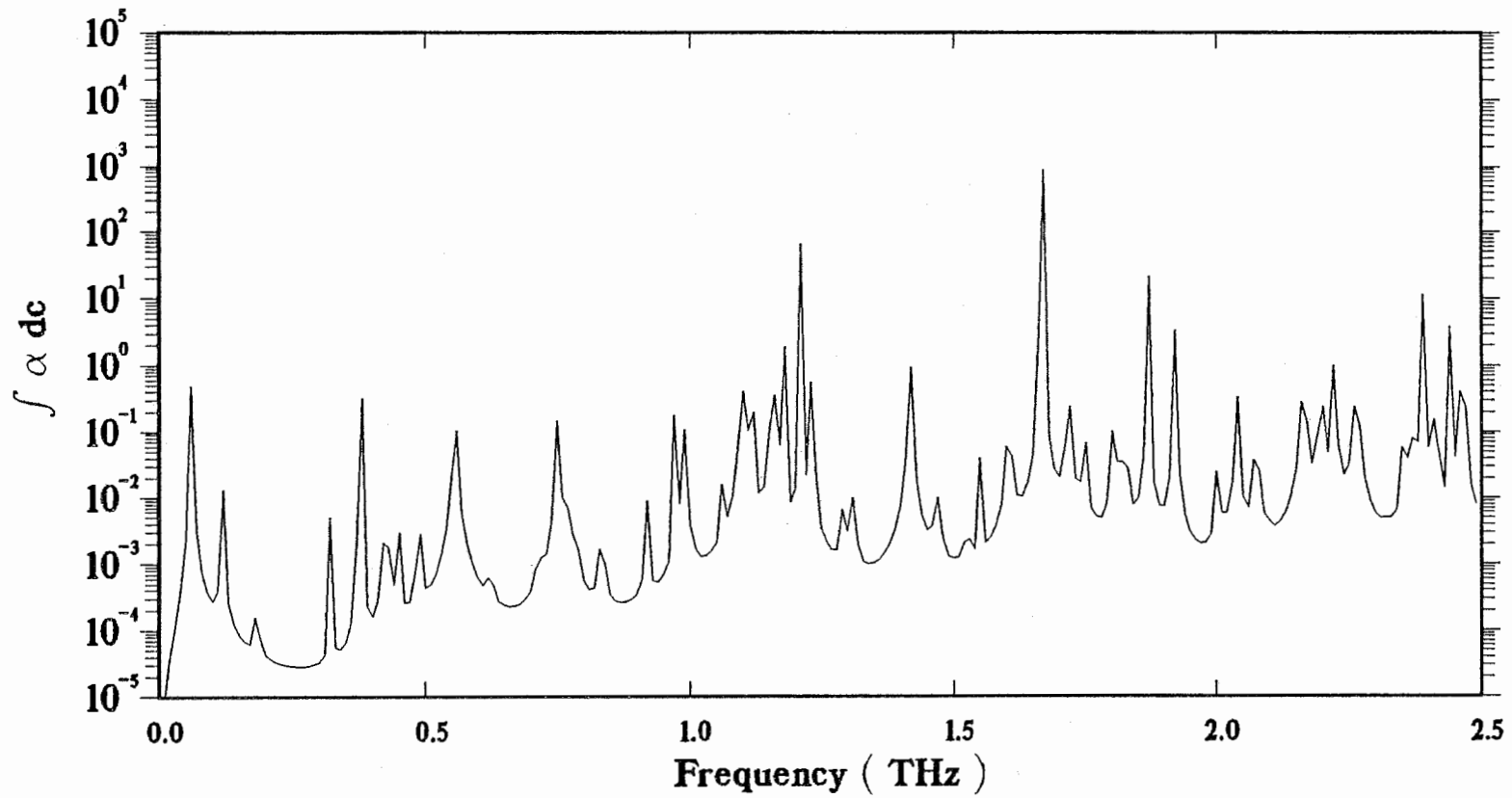
この計算結果は現存の技術による観測より遥かに現実に近い、つまり正確であろう。このprogramの計算結果からのずれが観測されればそれは大気のU. S. Standardからのずれ、つまり気温・気圧の揺らぎ、又は爆発等のeventを示すに違いない。

6) 次期計画.

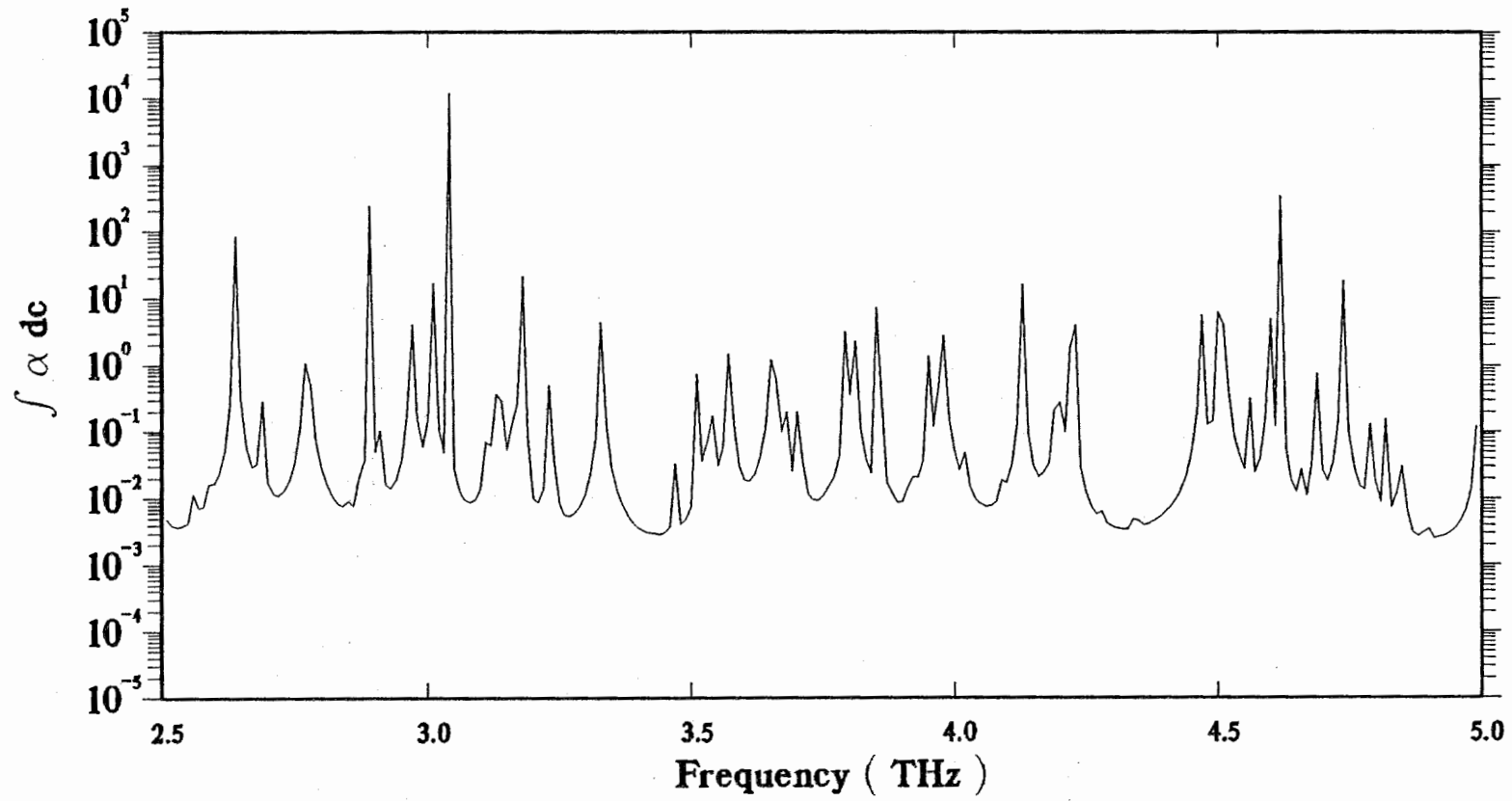
CO₂の20THz辺りでの吸収、H₂Oの振動による48, 110, 160THz辺りでの吸収をprogramに取り入れる必要がある。COとNOを考慮して高度100km以上の大気の影響を入れれば精度がよくなる。数値積分の方法の改良、user-friendlyにする等 computer science上の改良の余地も存在する。

文献

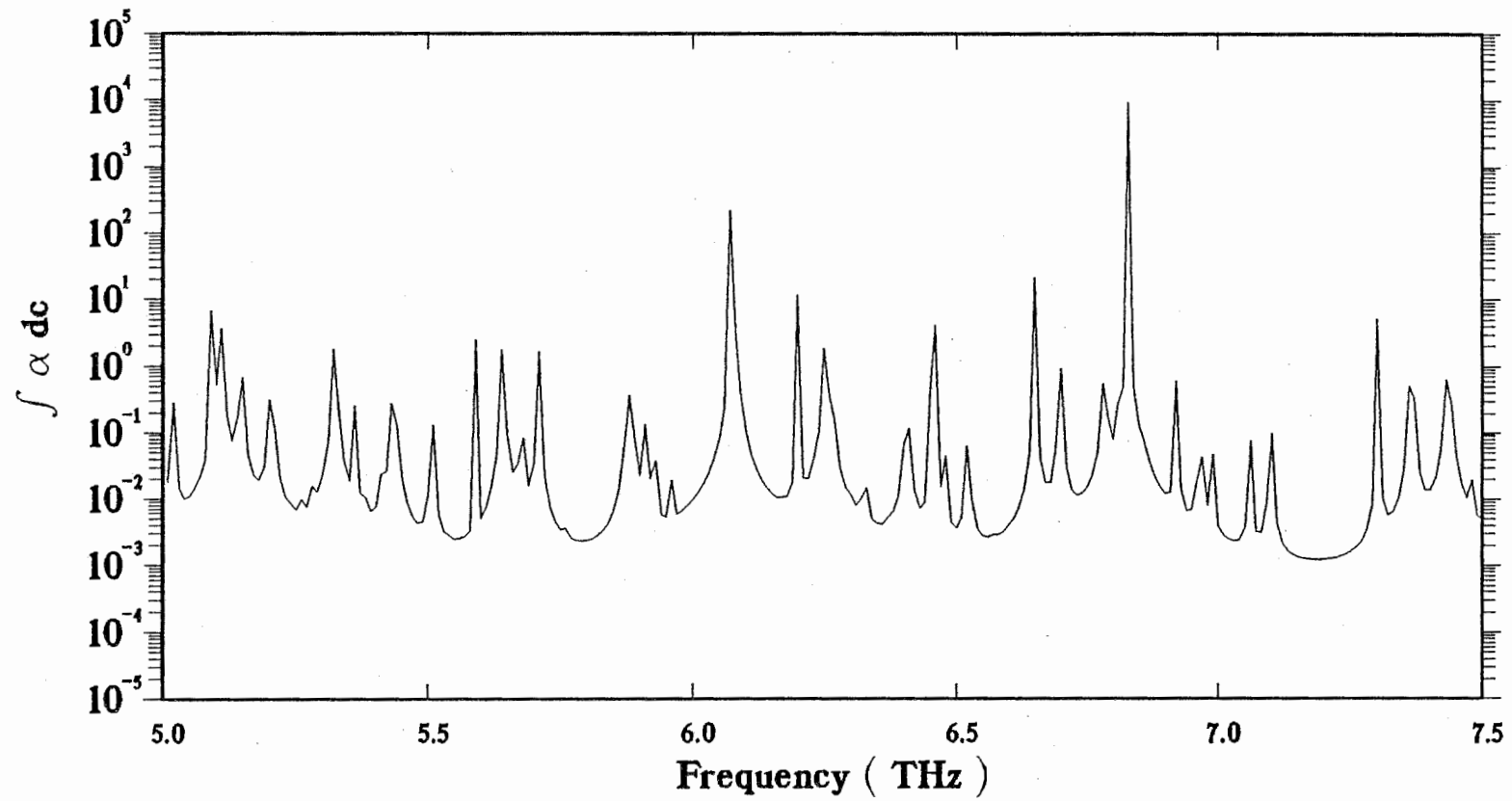
- (1) M.Mizushima, Theory of Rotating Diatomic Molecules, John Wiley, New York (1978)
- (2) H.J.Liebe, Radio Sci. 20, 1069(1985).
- (3) L.R.Zink and M.Mizushima, J.Mol.Spectr.125, 154(1987).
- (4) J.M.Flaud and C.Camay-Peyret, J.Mol.Spectr.51, 142(1987)
- (5) R.Paso, J.Kauppinen, and R.Anttila, J.Mol.Spectr.79,236(1980)
- (6) G.Guelachvili, J.Mol.Spectr.79, 72(1980)
- (7) J.W.C.Johns, J.Mol.Spectr.125, 442(1987)
- (8) M.A.H.Smith, C.P.Rinsland, B.Frindoch, and K.N.Rao, Intensities and Collision Broadening Parameters from Infrared Spectra, Chap.3 of Molecular Spectroscopy: Modern Research vol.III(ed.Rao), Academic Press, New York, 1985.



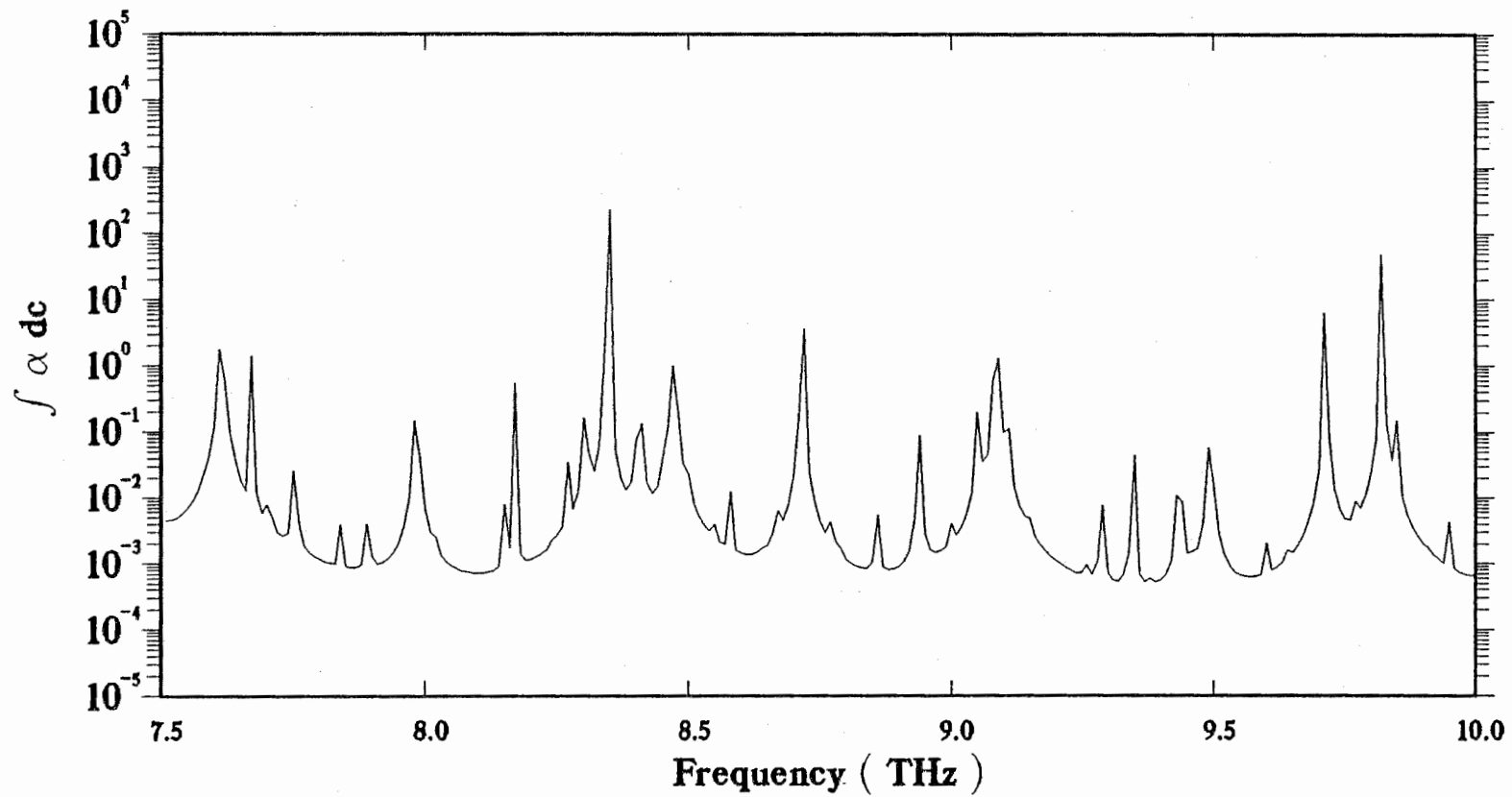
$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"



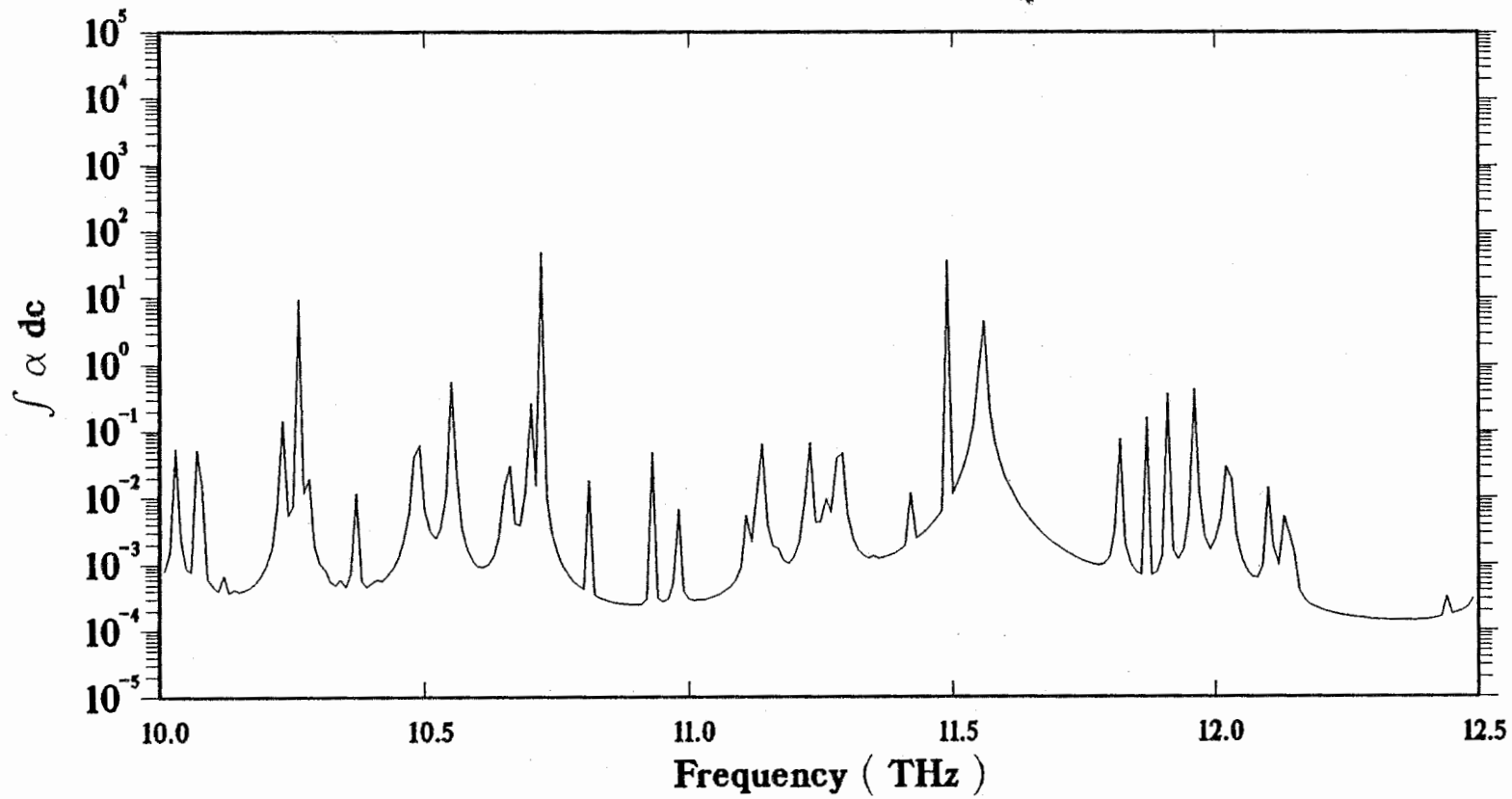
$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"



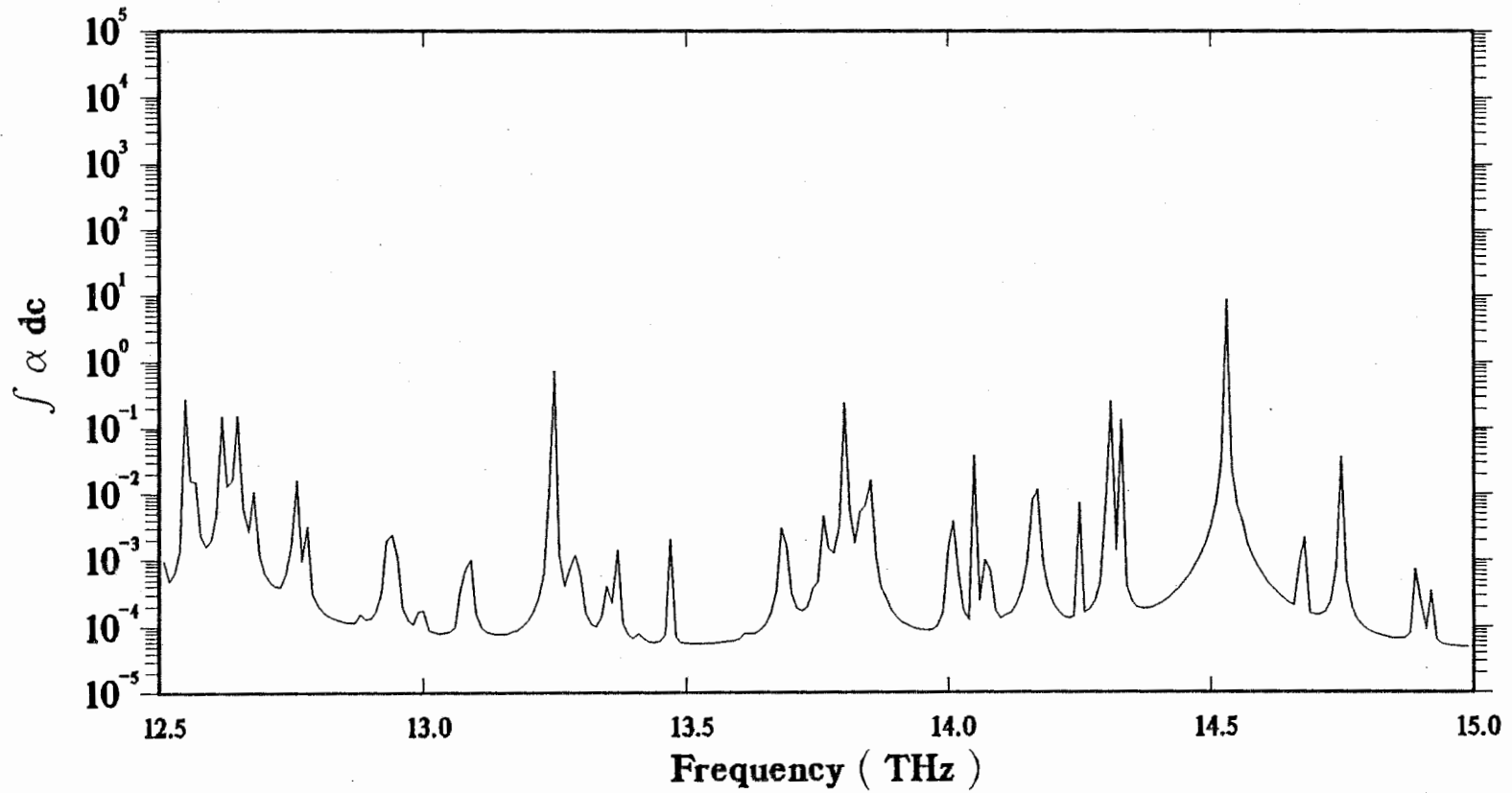
$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"



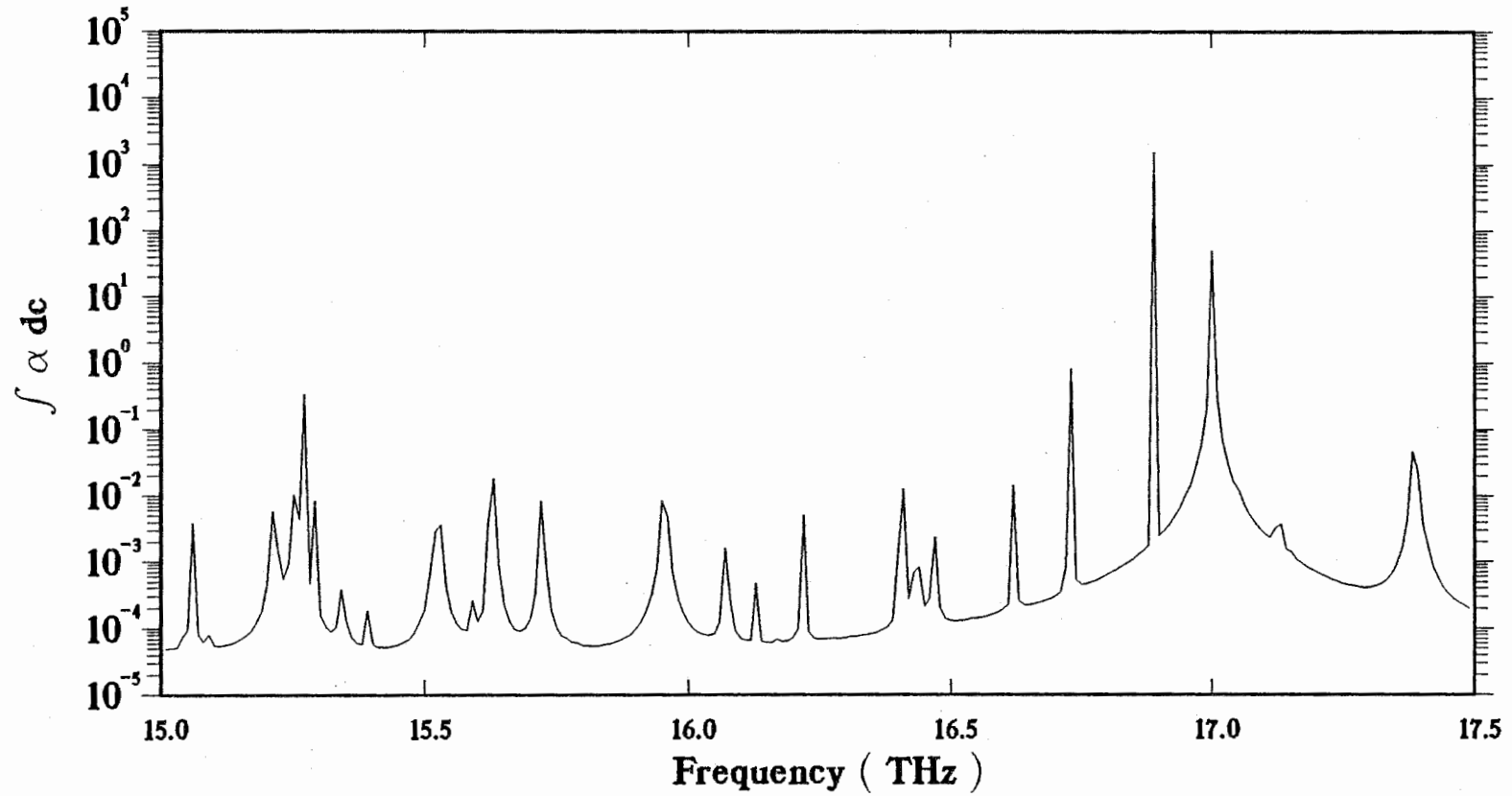
$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"



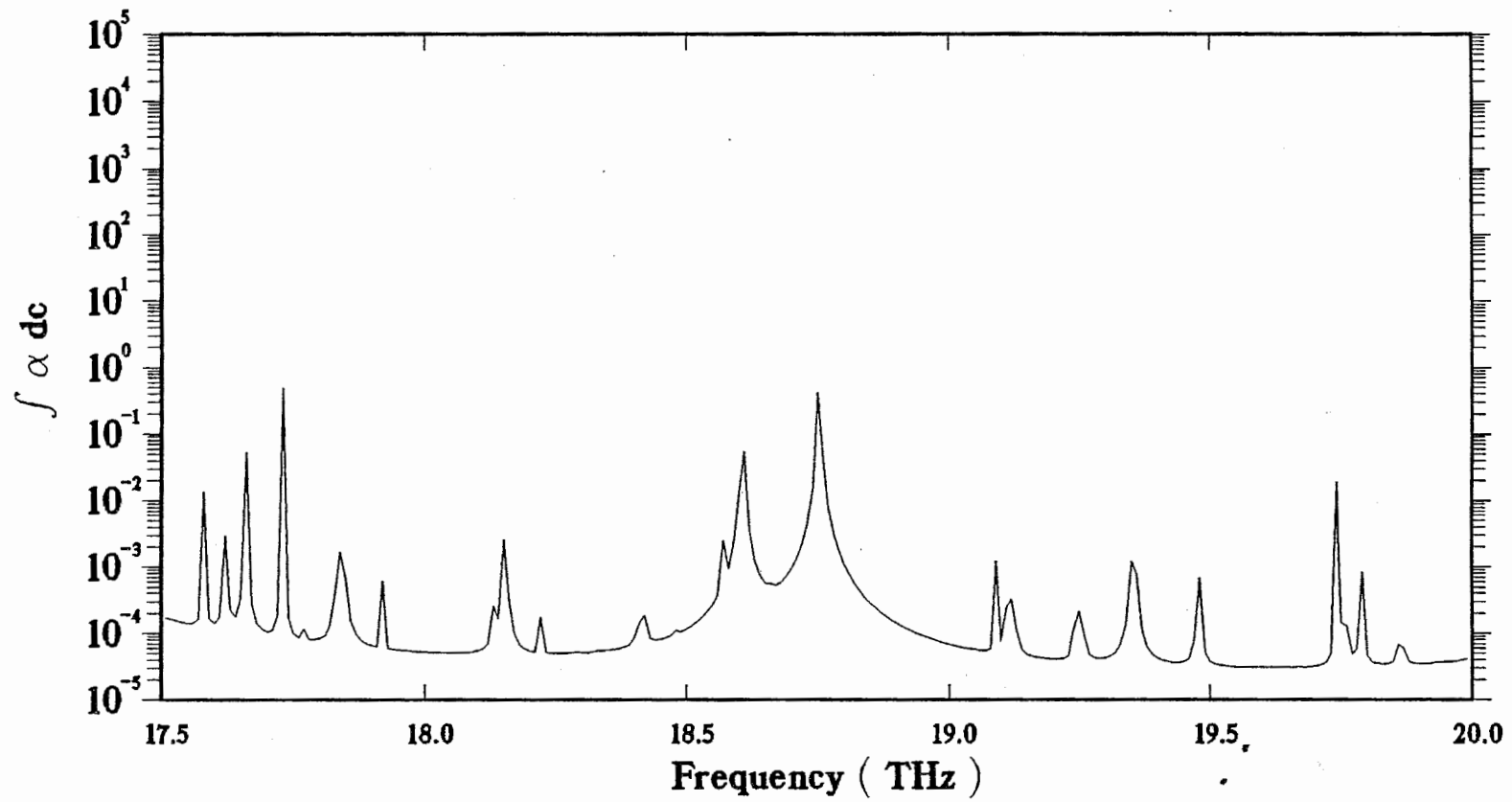
$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"



$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"



$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"



$h_a=310\text{km}$ $h_b=380\text{km}$ $\phi_a=1.30\text{rad}$ humidity 10% "case 1"