

# 卒業論文

金星の紫外線反射率の緯度依存性：  
金星探査機が撮像した画像の解析

2010年2月10日 提出

岡山大学 理学部 地球科学科

05418528 弓場勇矢

# 目次

1. 序論
  - 1.1 研究背景・目的
2. データ
  - 2.1 データの概要
3. データの処理
  - 3.1 選別
  - 3.2 付帯情報の計算
  - 3.3 解析に用いるデータの範囲
  - 3.4 解析方法
4. 結果
  - 4.1 反射率の入射角、射出角、方位角に対する依存性
  - 4.2 反射率の緯度依存性
5. まとめ

謝辞

参考文献

# Chapter 1

## 序論

### 1 研究背景・目的

図 1.1 は、太陽光が金星で反射されたものを、金星探査機が撮影した紫外線画像であり、模様を確認することができる。この模様の成因は、大気には紫外線を吸収する物質が混ざっていることが関係していて、太陽光に含まれる紫外線が金星で反射される過程で、紫外線吸収物質の分布が場所によって違うため、反射率に違いが生まれ、模様ができると考えられている。

図 1.2 を用いて吸収物質の分布が、どのように反射率に影響を与えるかを説明する。黄色い丸は雲を、黒い三角形は吸収物質を、紫色の矢印は太陽光の進行方向を表している。(a)、(b) では吸収物質の位置は変わらないが、量に違いがある場合を想定している。(a) は吸収物質が少ない場合を示していて、吸収物質の量が少ないほど太陽光を吸収せず、反射率は高い値を示す。また、(b) は吸収物質が多い場合を示していて、吸収物質の量が多いほど太陽光を吸収し、反射率は低い値を示す。(c)、(d) は吸収物質の量は変わらないが、吸収物質の位置に違いがある場合を想定している。(c) は吸収物質が低い位置に分布し、吸収物質が低い位置にあるほど、反射率は高い値を示す。また、(d) は吸収物質が高い位置に分布し、吸収物質が高い位置にあるほど、反射率は低い値を示す。

これまでの研究で吸収物質があるということはわかっているが、吸収物質の正体はわかっていない。吸収物質の正体を調べるという大きな目標に向けた第一歩として、金星

探査機が撮像した紫外線画像をもとにして、紫外線の反射率が緯度によってどのように変化するかを調べてみた。

反射率は吸収物質の分布によって決まるため、その分布がわかると、吸収物質の候補を制約できる可能性がある。過去に吸収物質の分布が緯度によってどのように違うかということ調べて例はない。そもそも反射率が緯度によって変わっているのかわからないが反射率の変化が明らかになれば、目的に近づくことができると考えた。

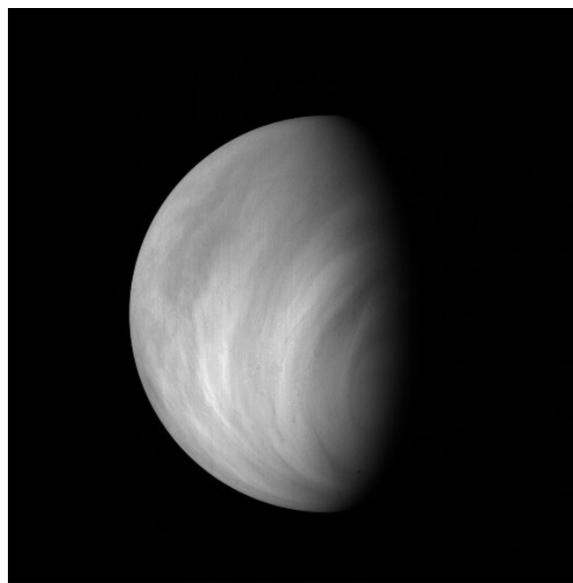


図 1.1 紫外線画像 (V0210\_0003\_UV2.IMG)

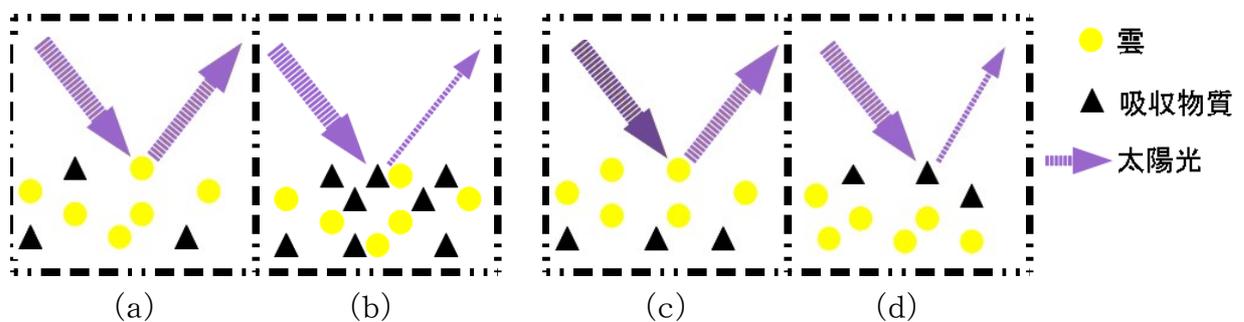


図 1.2

# Chapter 2

## データ

### 2.1 データの概要

今回の研究で用いたデータは欧州宇宙機関が打ち上げた金星探査機ビーナスエクスプレスによって撮像されたデータである。この金星探査機は金星の周回軌道をまわっている。その軌道はほぼ極軌道で、24時間で一周する(ESA Science & Technology : Venus Express, URL:<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=64>)。探査機には色々な観測装置が搭載されているが、今回の研究ではビーナスモニタリングカメラ(図 2.1.1)と呼ばれる装置が観測したデータを使用した。このカメラの視野は  $17.5^\circ$ 、画素数は  $(1024 \times 1024)$ (山田学、山崎敦、今村剛、渡部重十(2008) 一番星へ行こう！日本の金星探査機の挑戦 その5～紫外イメージャ UVI ～, 日本惑星科学会誌遊星人, 17(3), 189-192.)であり、4つの波長(図 2.1.2)で観測したが、今回は365 nm の紫外線の波長を使って観測したデータを使用した。解析に使用したデータの観測期間は2006年5月15日から2007年10月21日である。

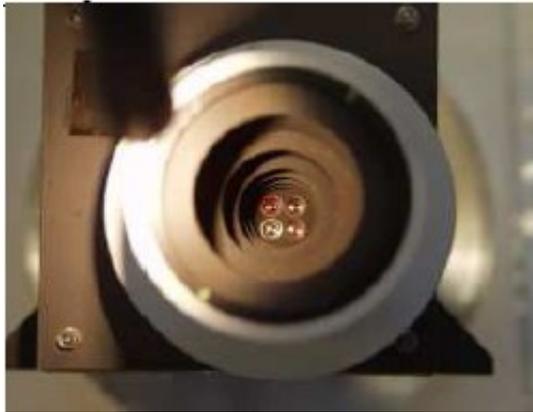


図 2.1.1 ビーナスモニタリングカメラ  
(引用: Max Planck GESELLSCHAFT  
<http://www.mps.mpg.de/en/projekte/venus-express/vmc/>)

	中心波長
紫外線	365 nm
可視光線	513 nm
赤外線	965 nm
赤外線	1000 nm

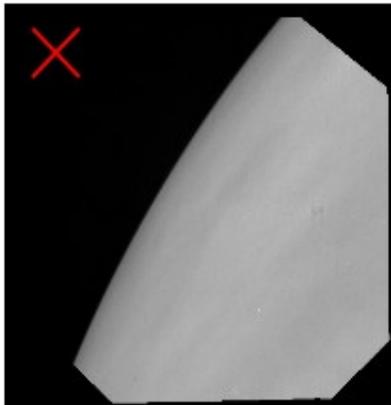
図 2.1.2 ビーナスモニタリングカメラの撮影領域

# Chapter 3

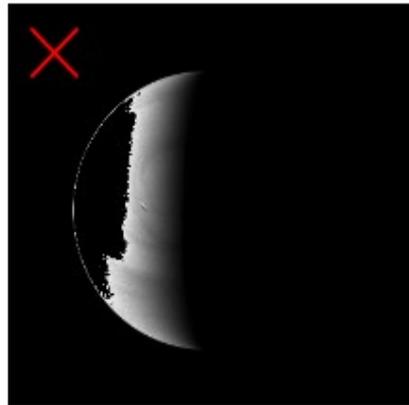
## データの処理

### 3.1 選別

<ftp://psa.esac.esa.int/pub/mirror/VENUS-EXPRESS/VMC/VEX-V-VMC-3-RDR-V1.0/DATA/> にアーカイブされている、金星で反射された紫外線を探査機が撮像したデータを使用した。まず、三万近い観測データの中から画像データだけを抜き出してやり全球が撮影されていて、きれいにとれているものだけを1枚1枚目でチェックして取り出した。図 2.2.1 は金星の一部分しか写っておらず、図 2.2.2 は全球は写っているが画像が欠けている。このようなデータは省いた。図 2.2.3 のような全球が写っていて画像が欠けてないものを用いた。その結果、三万近くあった観測データが1万になった。



図(2.2.1)



図(2.2.2)



図(2.2.3)

## 3.2 付帯情報の計算

今回使った画像のサイズは512×512ピクセルで、各ピクセルの輝度が紫外線画像データに書かれている。ここで、輝度とは探査機方向に対する金星表面で反射された紫外線の放射強度を示すものである。輝度は反射する物質の性質に影響を受ける。例えば、反射物質の大きさ、形、組成が異なると反射率が変化する。したがって輝度も変化する。本研究では入射角、射出角、方位角という、3つの角が反射率に影響を与えると考えた。図3.2.1はこの3つの角を説明したものである。鉛直方向上向きをZとすると、入射角は太陽光の入射方向とZ軸がなす角度である。射出角は反射した光がでていく方向とZ軸がなす角度である。太陽光の入射方向をXZ平面とし、またZ軸に垂直な面をXY平面とすると方位角は、反射光の進行方向をXY平面に投影したものと、X軸とのなす角度である。以上から、どの向きから光が入射したとか、どの向きに出ていった光を観測したのか、といった情報が必要である。紫外線画像データにはこれらの情報は含まれていない。そこで各ピクセルの入射角、射出角、方位角、緯度、経度をSPICEカーネルファイルとSPICEというソフトを使って計算した。カーネルファイルには色々な時刻における、金星の位置、太陽の位置、探査機の位置、姿勢といったものが書かれている。観測データから撮影時刻を抜き出してやり、その時刻における金星の位置、太陽の位置、探査機の位置、姿勢のデータをカーネルファイルから読み出す。次に、位置や姿勢のデータに基づいて、各ピクセルにおける入射角、射出角、方位角、緯度、経度を計算した。

$i$ : 入射角    $e$ : 射出角    $\phi$ : 方位角

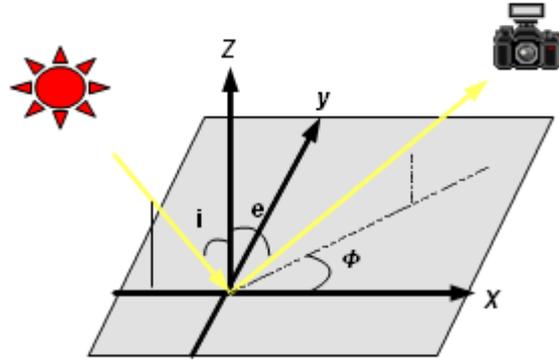


图 3.2.1 入射角、射出角、方位角

### 3.3 解析したデータの範囲

図(2.4.1)は縦軸に緯度、横軸に経度の軸をとったもので、緯度経度を、1度間隔でとってそれぞれに含まれるデータの数を示したものである。この図から、南半球のデータがほとんどで、経度によりデータのばらつきがあるということがわかる。南半球のデータが多くなる理由は、探査機の軌道がとても扁平な楕円軌道で、南極上空で金星から最も離れ、北極上空で最も近づく軌道をとるためである。近くでとった画像は金星の一部しか写っていないため、選別工程で削除されている。その結果、探査機と金星までの距離が遠い、南半球側を撮影した画像が残ったため、南半球のデータが多くなる。このことから、今回の研究では、データ数が多い、南半球についてだけ調べることになった。また経度により、データのばらつきがある理由は、探査機が撮影する昼面の経度は軌道毎に異なること、また軌道毎に抽出した画像の枚数に違いがあるためである。図(2.4.2)は軌道毎の採用した画像の枚数、図(2.4.3)は軌道毎の経度1度あたりに含まれるデータの数を示している。

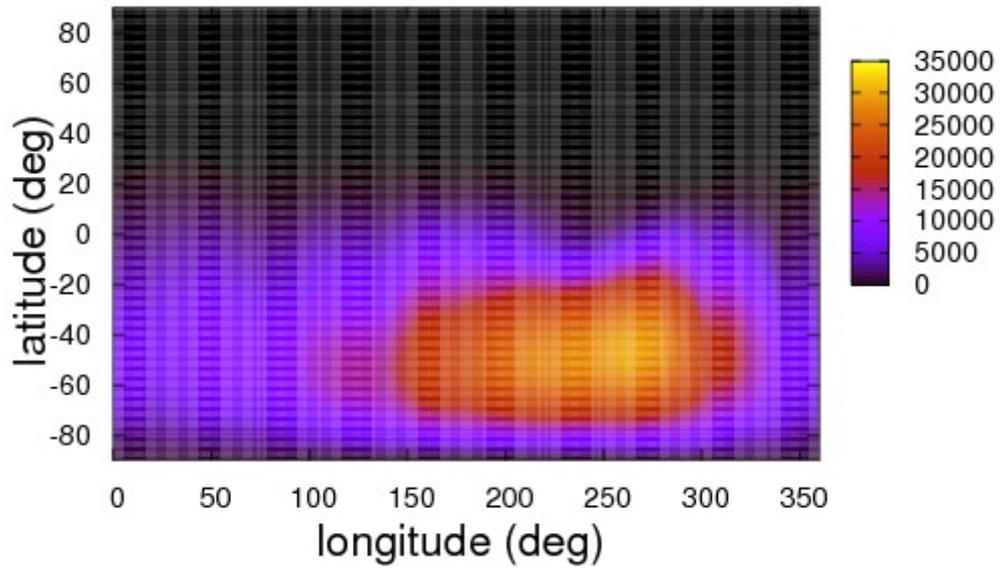


図 2.4.1 緯度、経度の1度間隔の範囲に含まれるデータ数を示した図

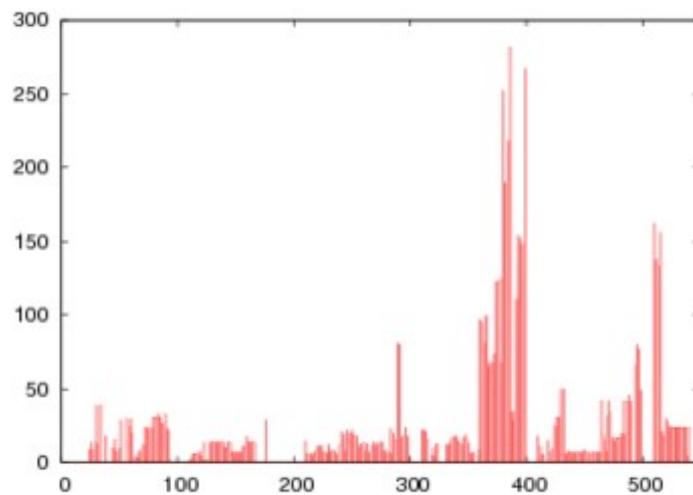


図 2.4.2 各軌道における使用した画像の枚数

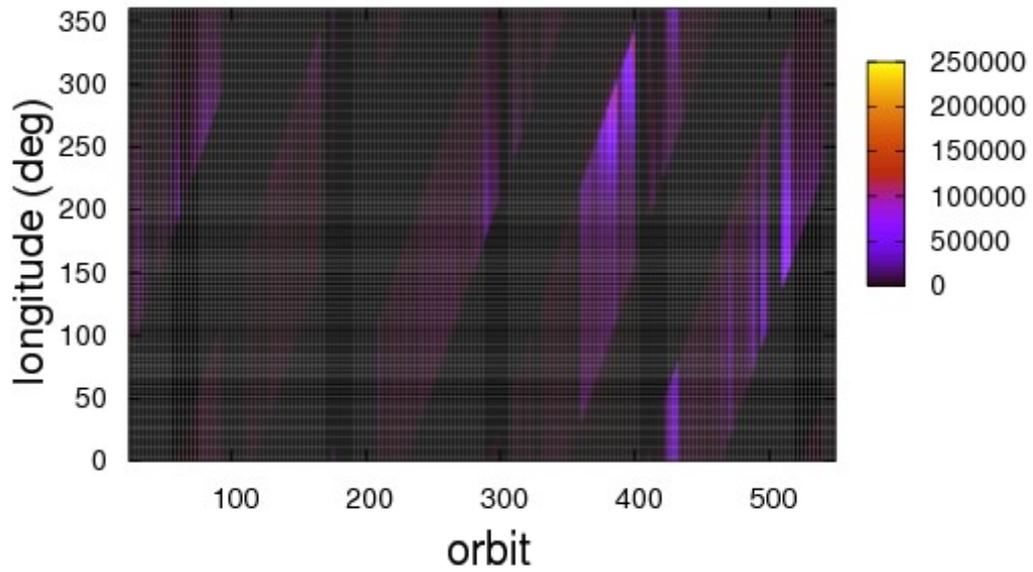


図 2.4.3 各軌道における経度 1 度あたりに含まれるデータの数を示した図

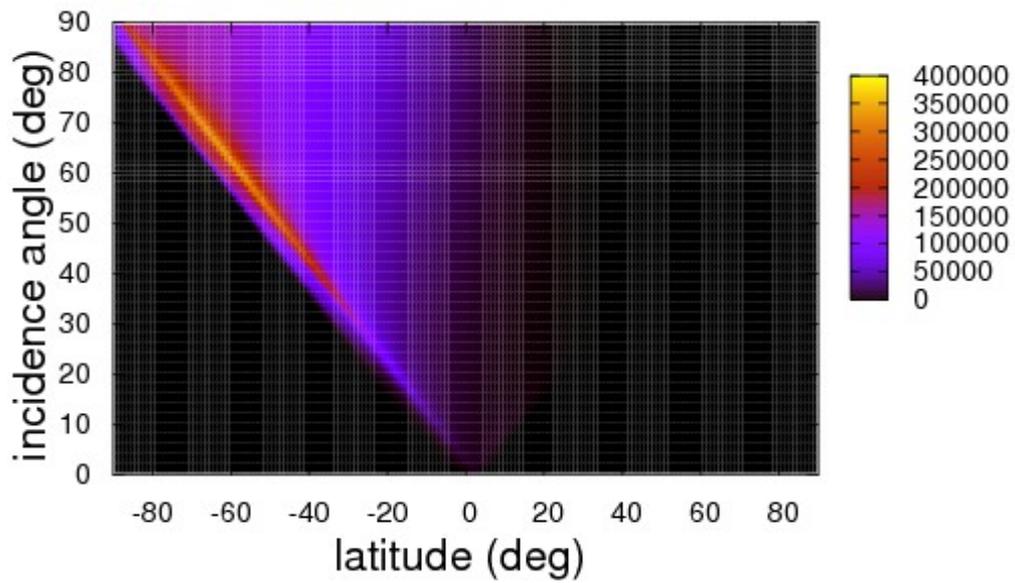


図 2.4.4 入射角、緯度の 1 度間隔の範囲に含まれるデータ数を示した図

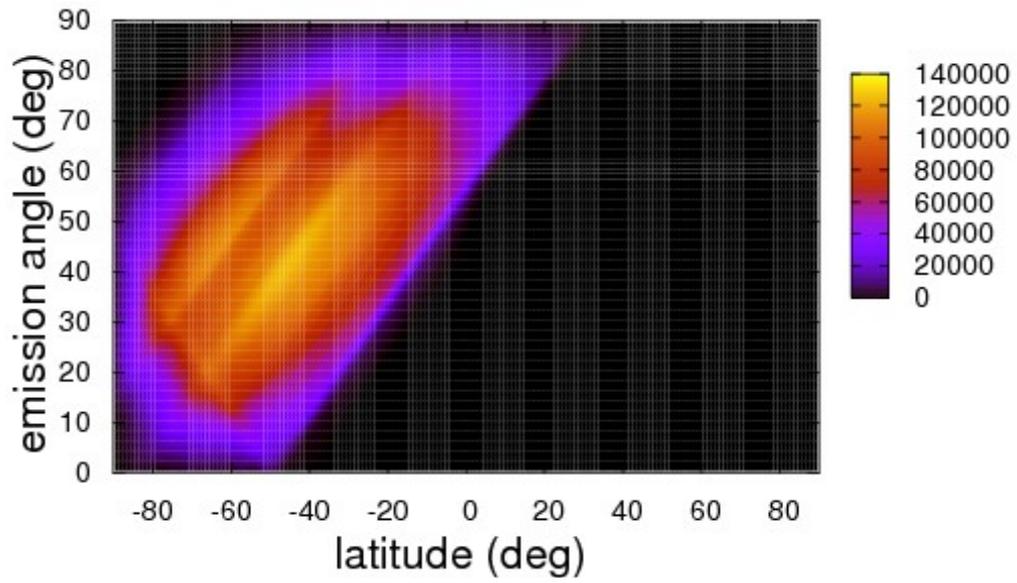


図 2.4.5 射出角、緯度の1度間隔の範囲に含まれるデータ数を示した図

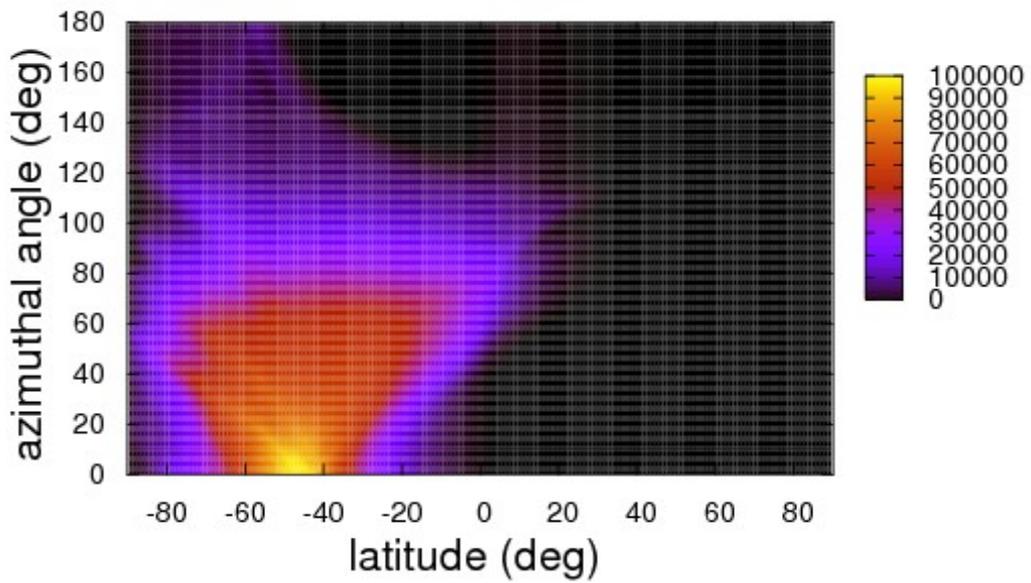


図 2.4.6 方位角、緯度の1度間隔の範囲に含まれるデータ数を示した図

## 3.4 解析方法

金星は球形であるので、緯度、経度により入射する太陽輻射の強度が異なる。反射率の緯度、入射角、射出角、方位角に対する依存性を調べるには、場所によらず同じ放射強度の光を反射面に当ててやる必要がある。輝度の値を使用して反射率の変化を見るために、輝度を入射フラックスで補正した。

反射率の入射角、射出角、方位角に対する依存性について明らかにするために入射角、射出角、方位角の値を変化させた図を描いた。描いた図を比較して入射角、射出角、方位角の値を変化させた時に反射率がどのように変化するか調べた。図は縦軸に入射フラックスで補正した輝度の平均値、横軸は方位角である。

また、反射率の緯度依存性を明らかにするために、入射角、射出角、方位角に同じ値をとり、縦軸に入射フラックスで補正した輝度の平均値、横軸に緯度をとった図を作成し、反射率の緯度変化を調べた。

# Chapter 4

## 結果

### 4.1 反射率の入射角、射出角、方位角に対する依存性

ここでは入射角、射出角、方位角に対する反射率の依存性を明らかにするために入射角、射出角、方位角の値を変化させた場合の反射率の変化を調べた。その結果を図 4.1.1～4.1.81 に示す。各図の上側には用いたデータの入射角と射出角の範囲、右側には緯度の範囲を表記した。

図 4.1.1 のように、何もプロットされていない図は、図の上側に表記された入射角、射出角の範囲におけるデータが存在しない。

図 4.1.73～81 は、グラフのまとまりがない。図 4.1.82 に示すように  $1/\cos(x)$  のグラフは  $x=90^\circ$  に近づくとき無限大に大きくなる。わずかな入射角の誤差が輝度を入射フラックスで補正したものに、大きな影響を与えたと考えられる。

図 4.1.1～72 からわかることは、入射角、射出角、方位角の値が変わるにつれ、反射率も変化しているということである。特に、入射角、射出角の値が高いほど顕著にその傾向が見られる。よって反射率は入射角、射出角、方位角に対して依存性があるといえる。

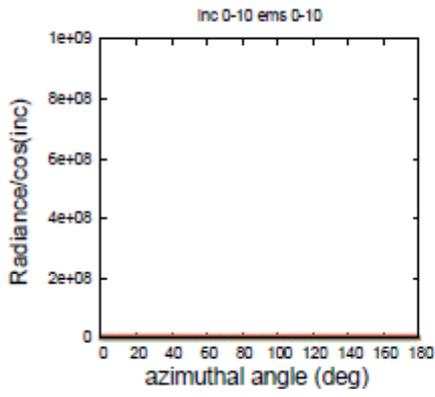
また、入射角が増加すると反射率の方位角に対する依存性が大きくなり (図 4.1.34、4.1.52、4.1.70)、射出角が増加すると反射率の方位角に対する依存性が大きくなる (図 4.1.56～62)。こうした依存性は反射する雲の性質によって決定される。たとえば雲の粒の大きさが変わったりすると、こうした角に対する依存性は変化する。したがって、こ

いった入射角や射出角や方位角に対する、依存性を調べることで、金星の雲に関する情報を得られる可能性がある。

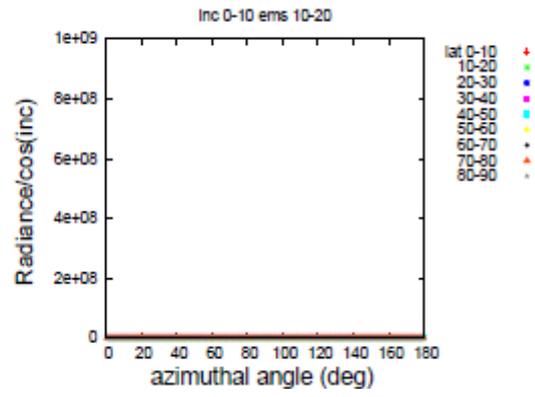
## 4.2 反射率の緯度依存性

また、反射率の緯度依存性を明らかにするために、入射角、射出角、方位角に同じ値を用いて、反射率の緯度変化を調べた。その結果を図 4.2 に示す。図(4.2)から、高緯度になるにつれて、反射率が大きくなることがわかる。

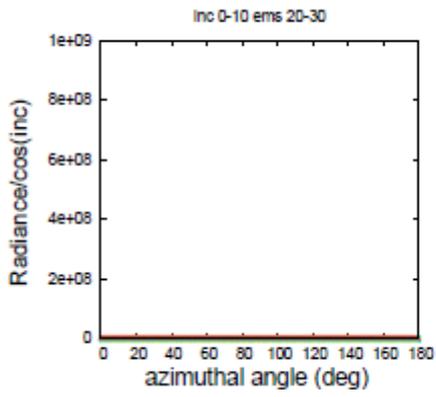
反射率は入射角、射出角、方位角が同じ値の場合は一定になるはずだが、高緯度になるにつれて、反射率が大きくなるということは、緯度によって吸収物質の分布が異なると予測される。



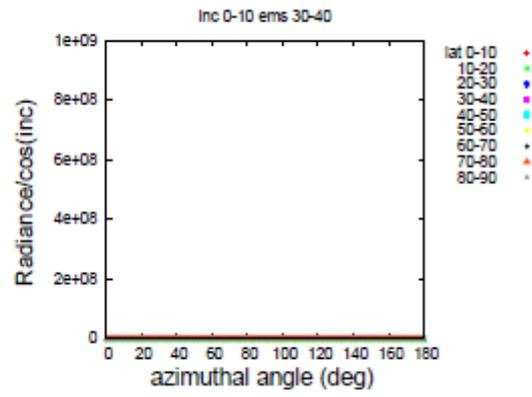
☒ 4.1.1



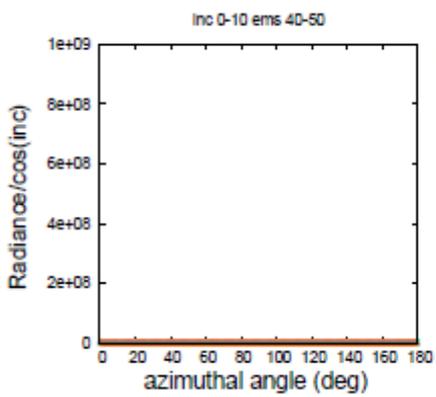
☒ 4.1.2



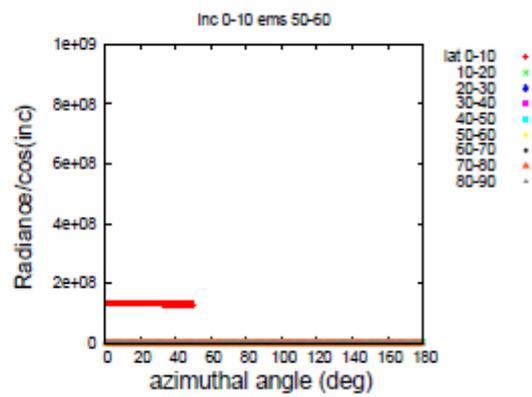
☒ 4.1.3



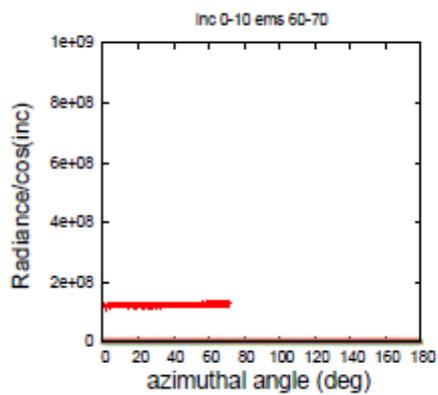
☒ 4.1.4



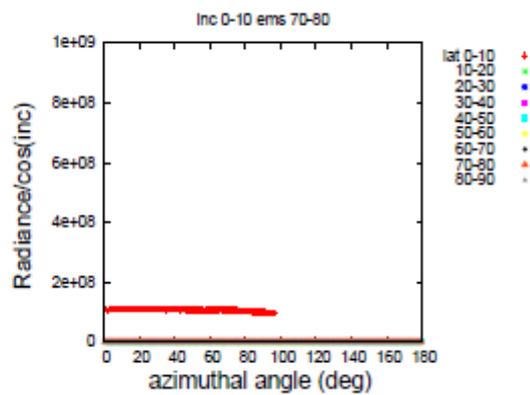
☒ 4.1.5



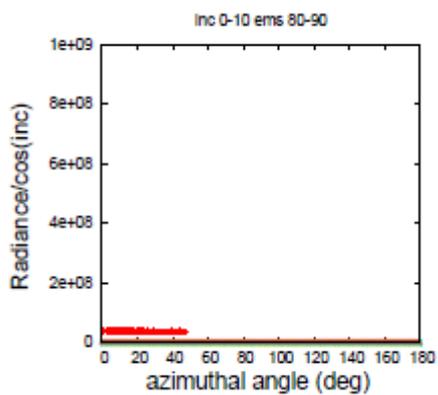
☒ 4.1.6



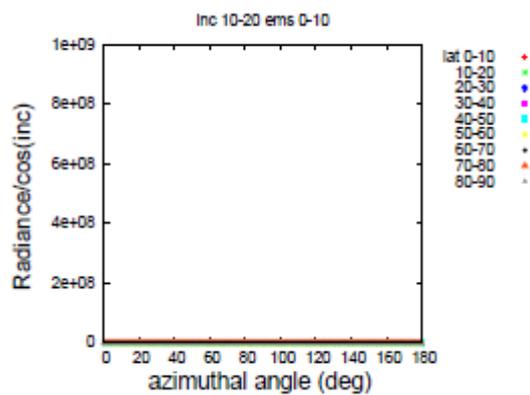
☒ 4.1.7



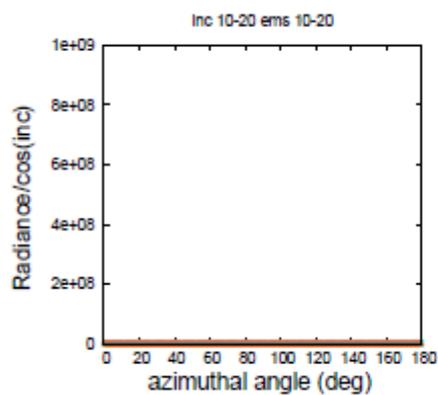
☒ 4.1.8



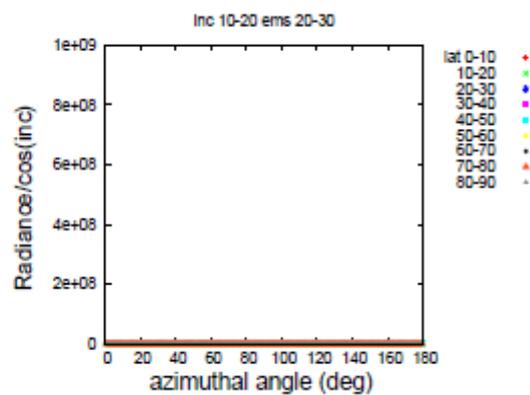
☒ 4.1.9



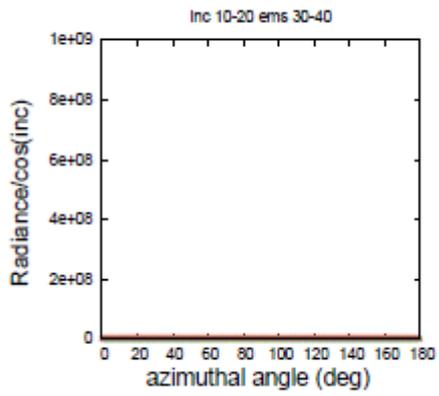
☒ 4.1.10



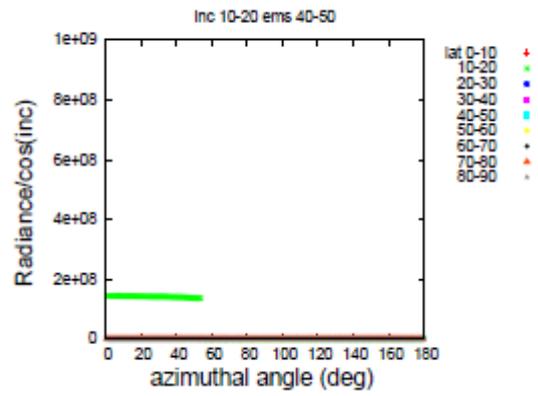
☒ 4.1.11



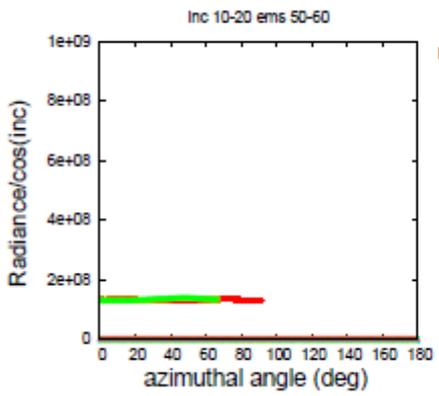
☒ 4.1.12



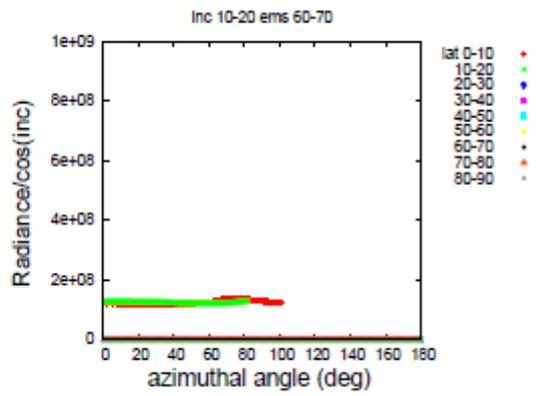
☒ 4.1.13



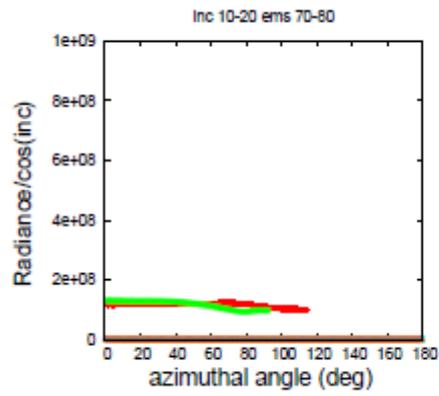
☒ 4.1.14



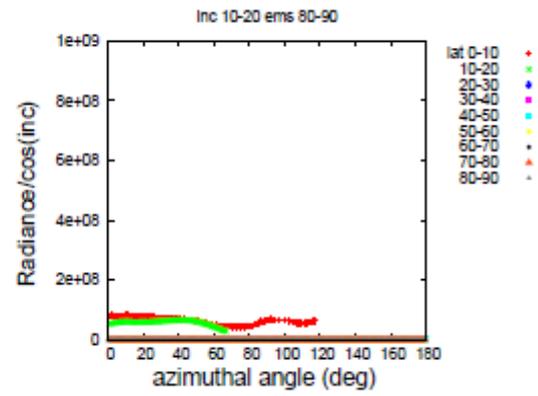
☒ 4.1.15



☒ 4.1.16



☒ 4.1.17



☒ 4.1.18

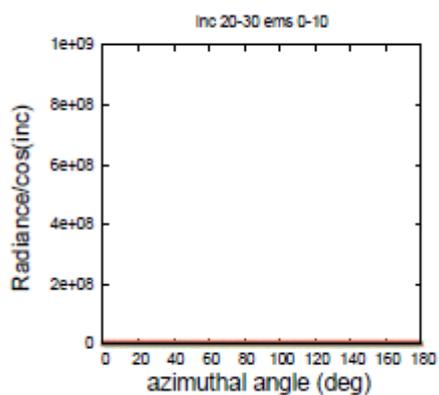


图 4.1.19

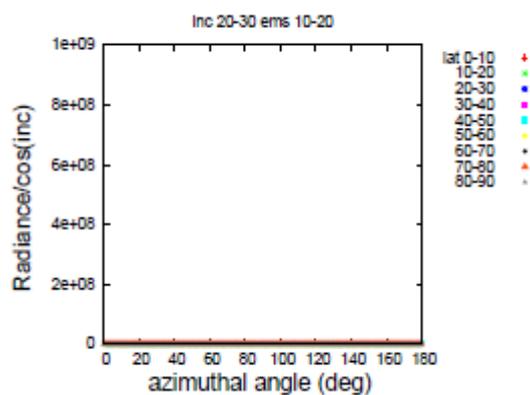


图 4.1.20

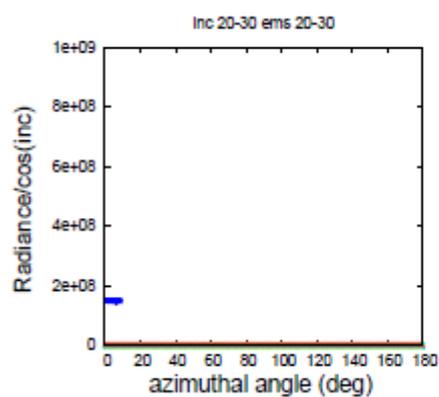


图 4.1.21

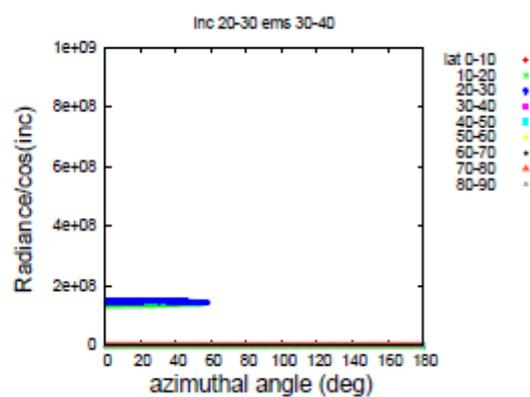


图 4.1.22

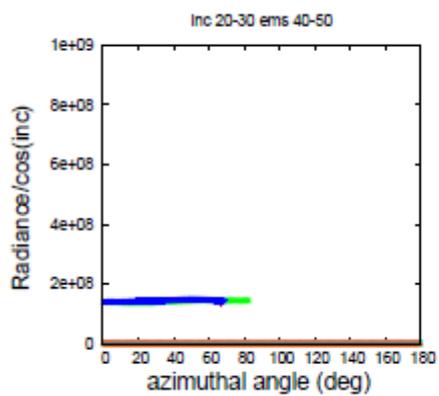


图 4.1.23

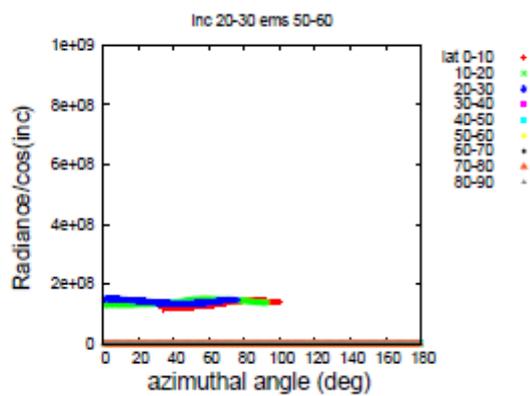
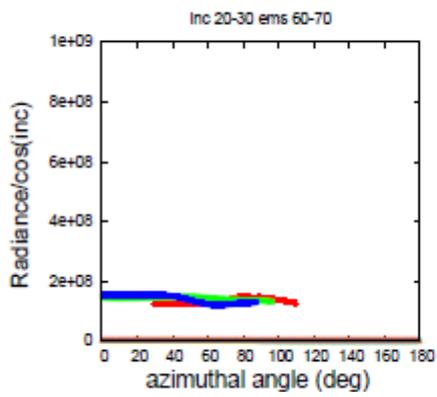
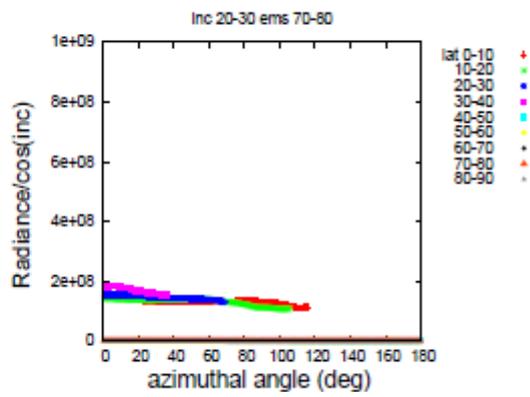


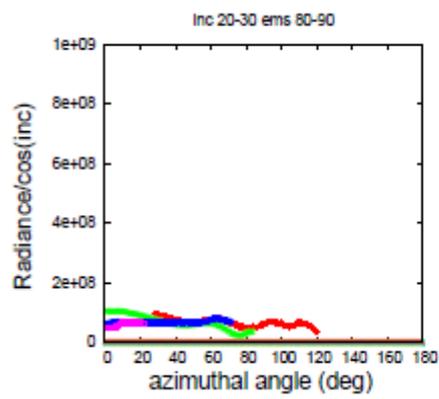
图 4.1.24



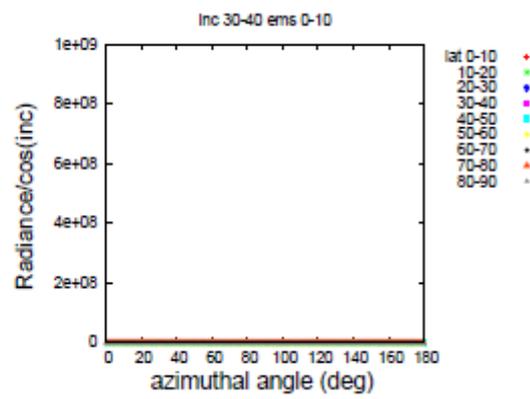
☒ 4.1.25



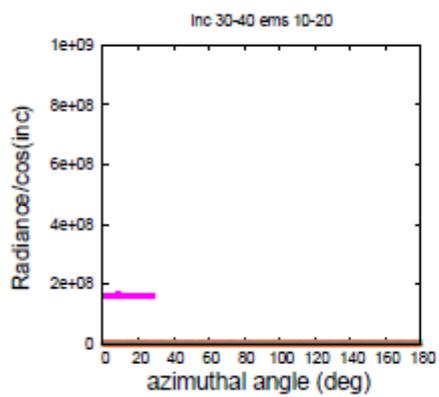
☒ 4.1.26



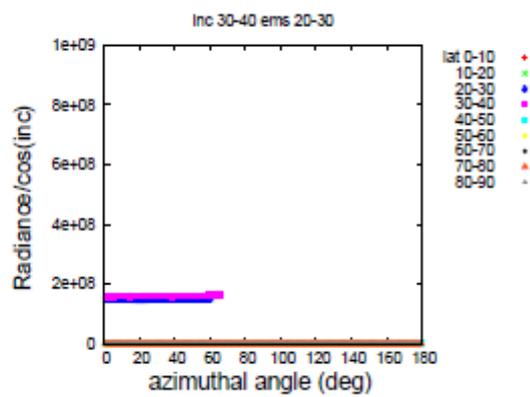
☒ 4.1.27



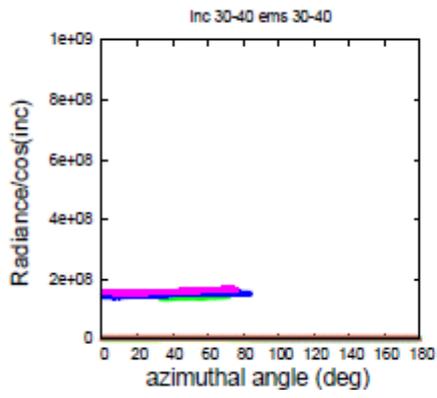
☒ 4.1.28



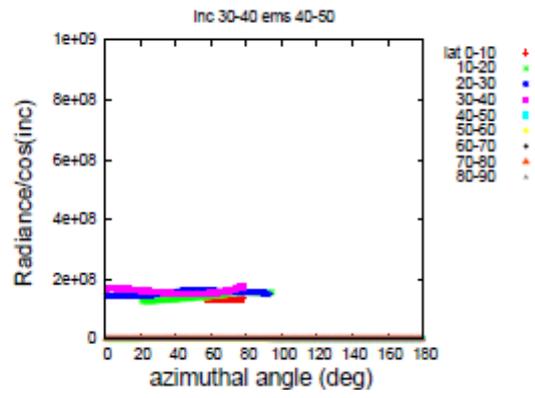
☒ 4.1.29



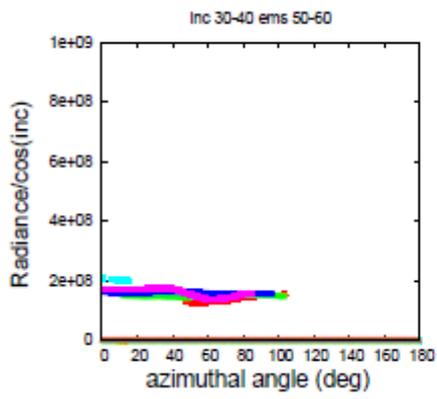
☒ 4.1.30



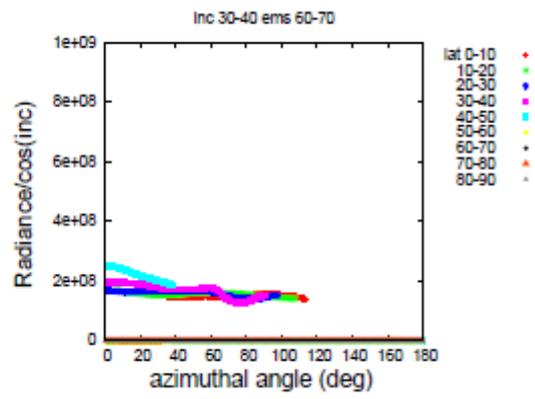
☒ 4.1.31



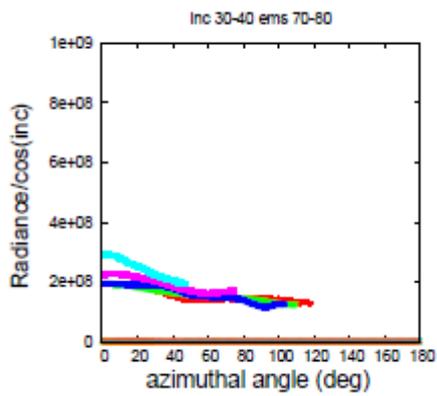
☒ 4.1.32



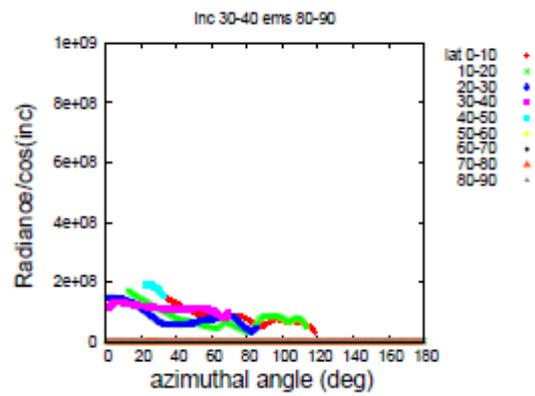
☒ 4.1.33



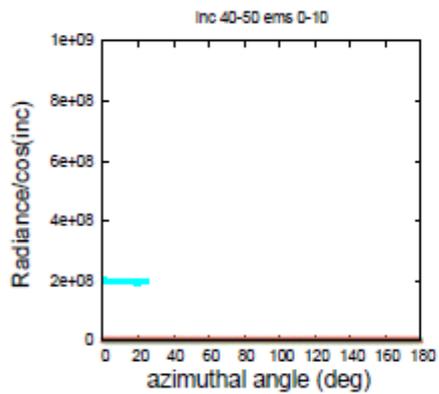
☒ 4.1.34



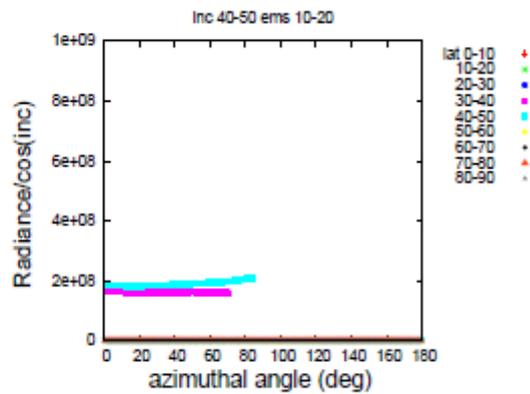
☒ 4.1.35



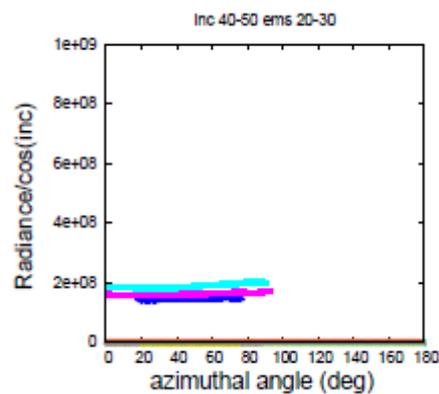
☒ 4.1.36



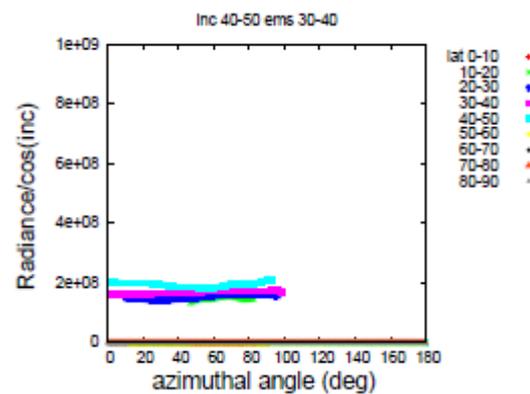
☒ 4.1.37



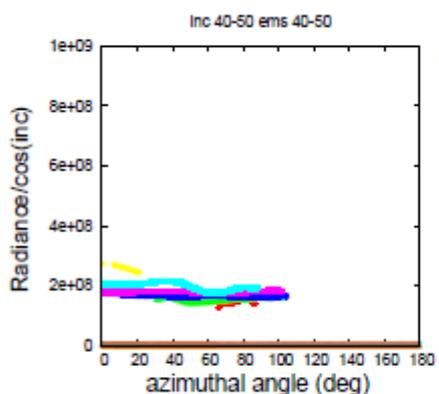
☒ 4.1.38



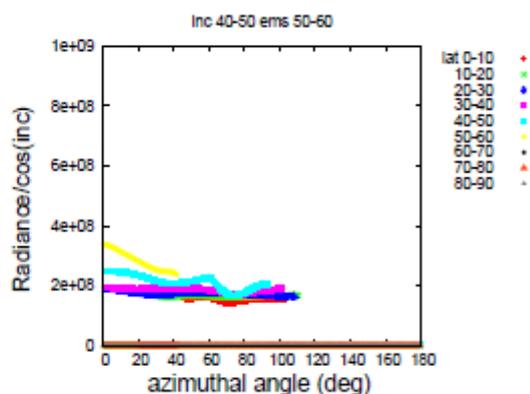
☒ 4.1.39



☒ 4.1.40



☒ 4.1.41



☒ 4.1.42

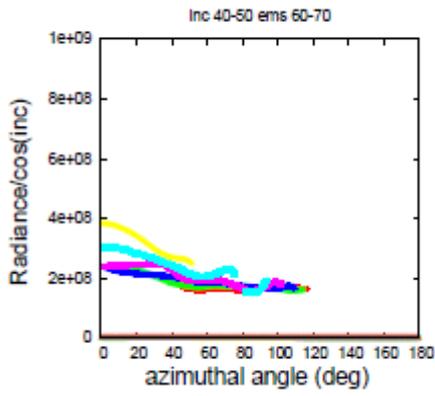


图 4.1.43

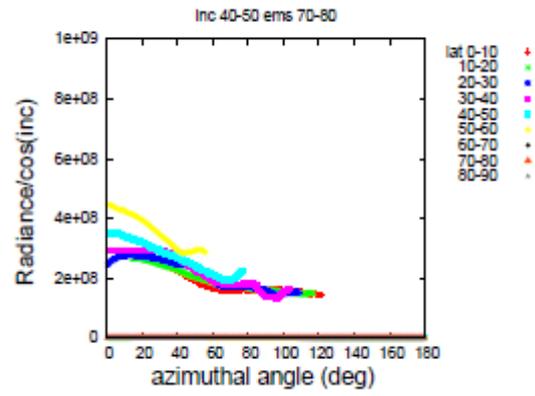


图 4.1.44

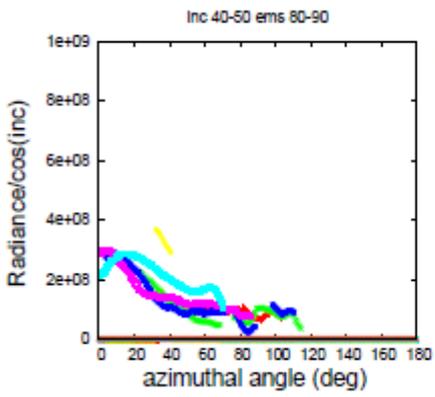


图 4.1.45

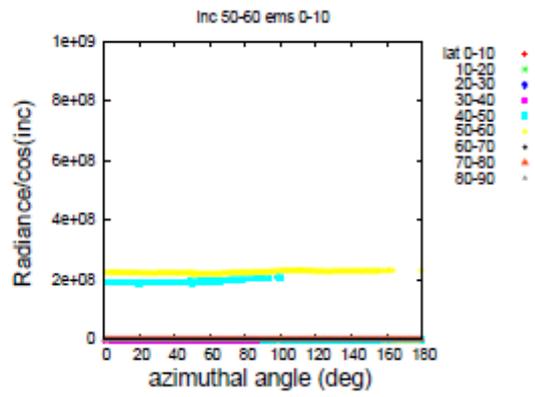


图 4.1.46

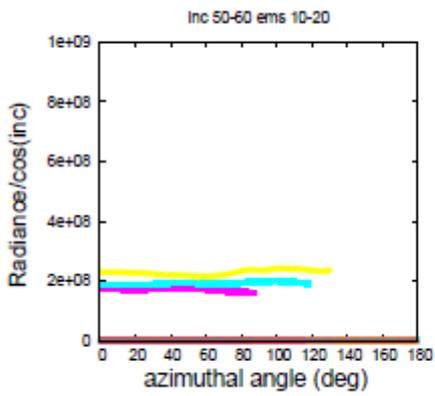


图 4.1.47

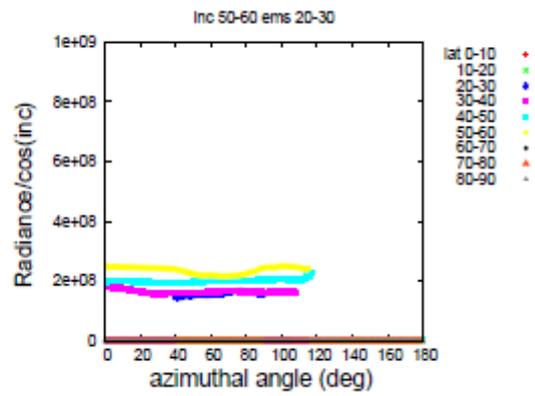
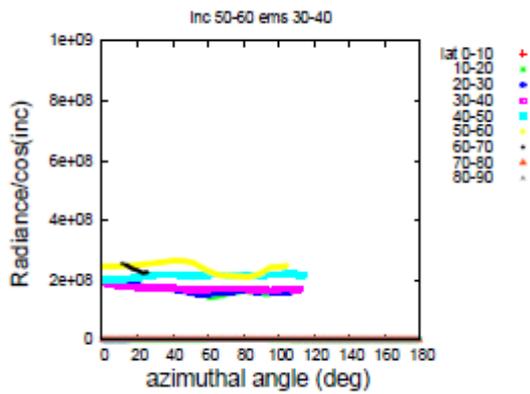
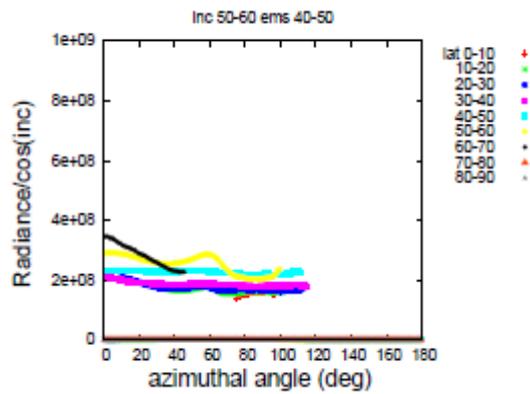


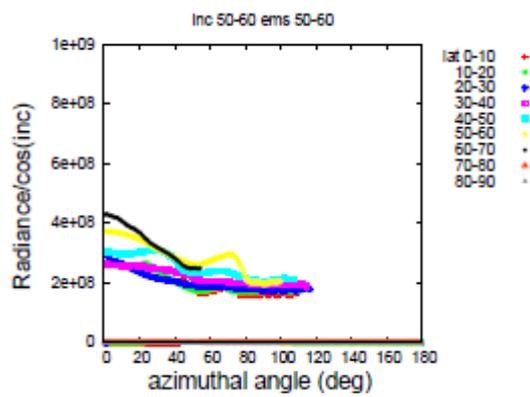
图 4.1.48



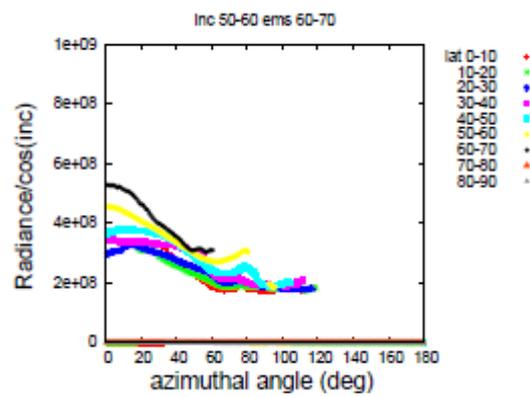
☒ 4.1.49



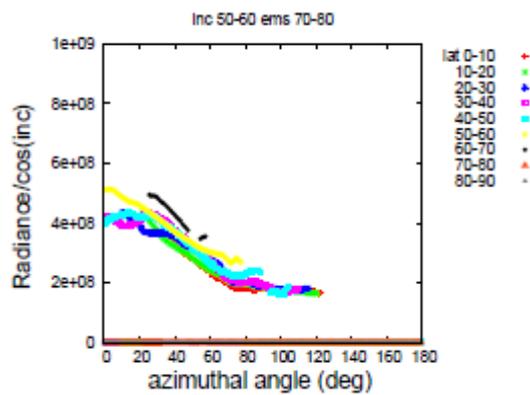
☒ 4.1.50



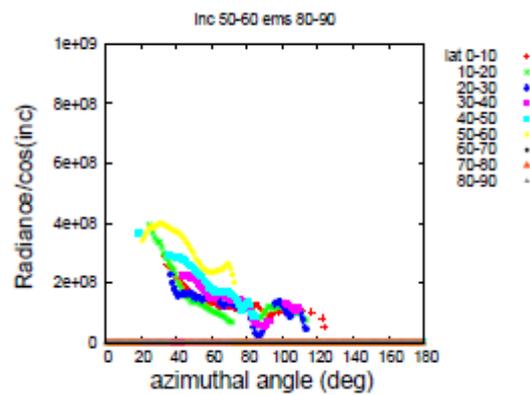
☒ 4.1.51



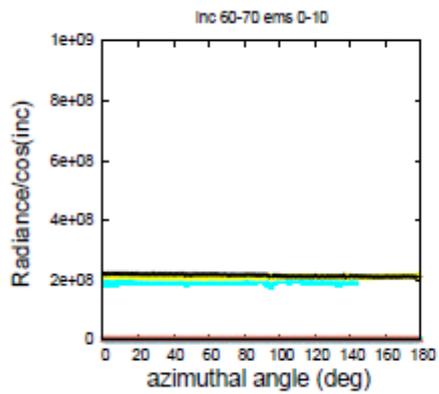
☒ 4.1.52



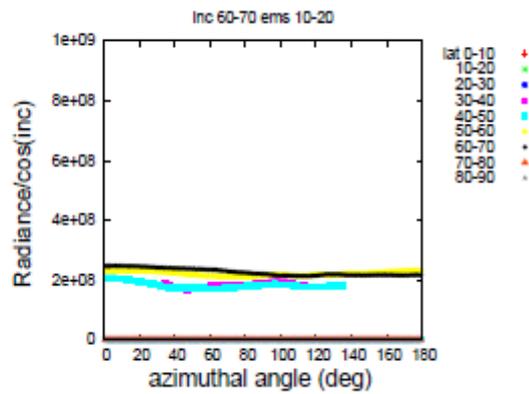
☒ 4.1.53



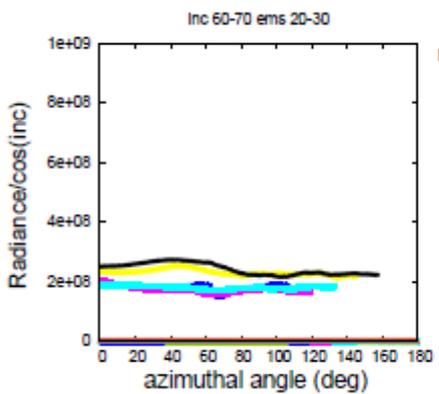
☒ 4.1.54



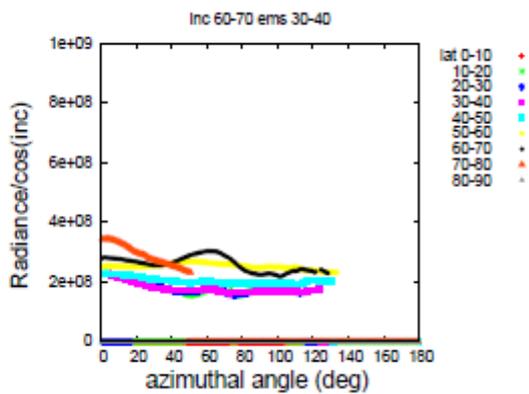
☒ 4.1.55



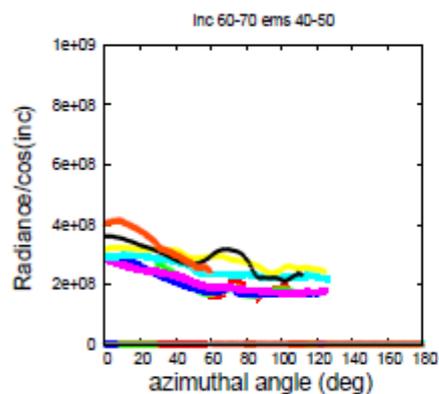
☒ 4.1.56



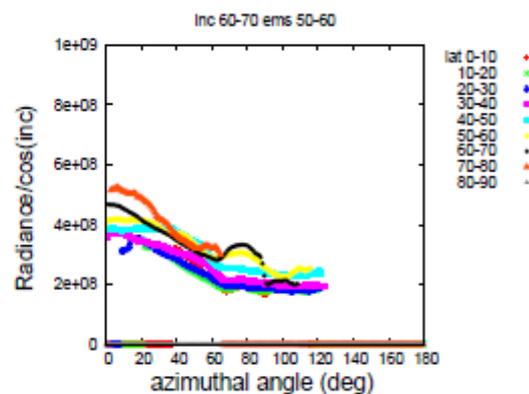
☒ 4.1.57



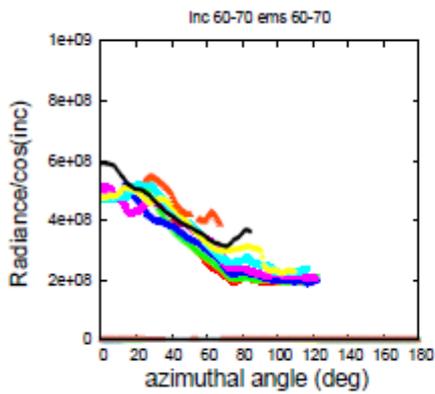
☒ 4.1.58



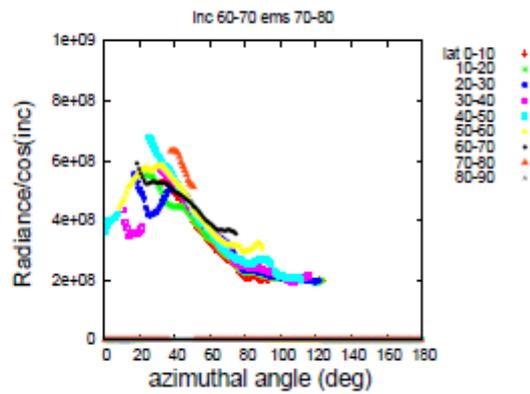
☒ 4.1.59



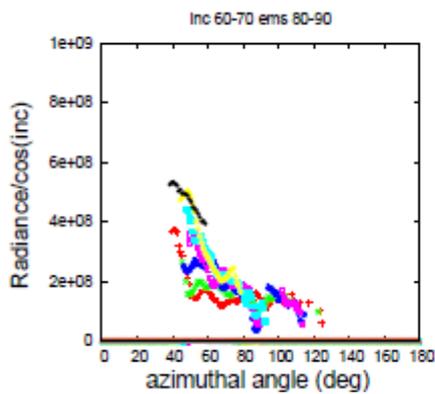
☒ 4.1.60



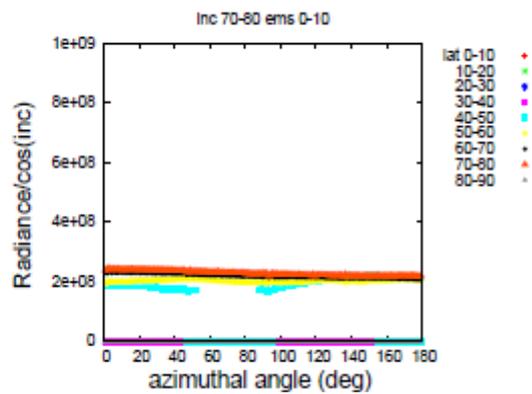
☒ 4.1.61



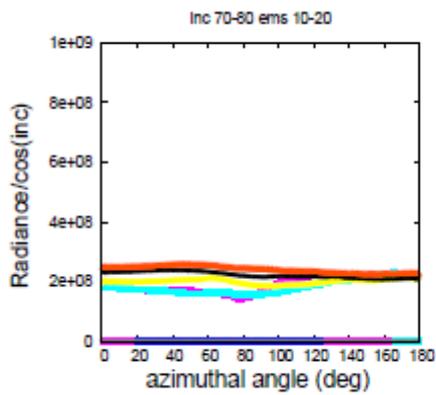
☒ 4.1.62



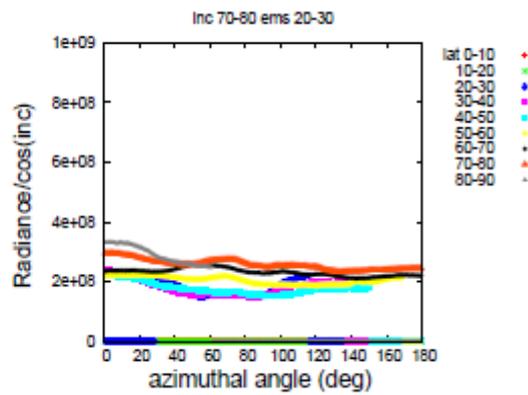
☒ 4.1.63



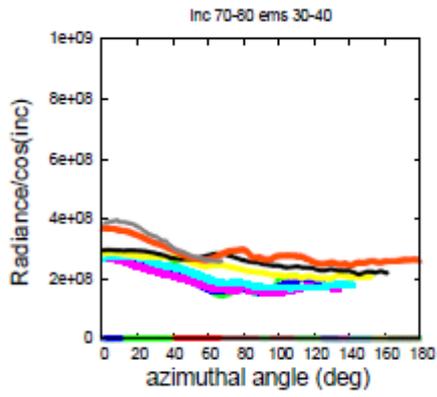
☒ 4.1.64



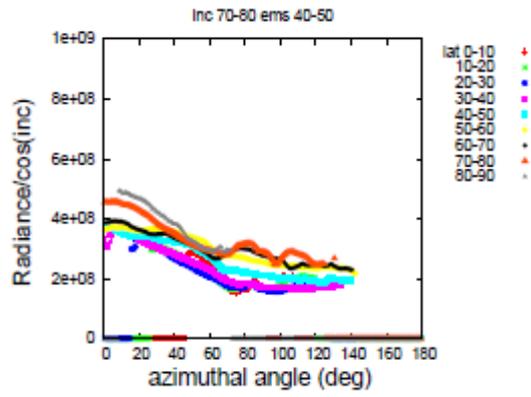
☒ 4.1.65



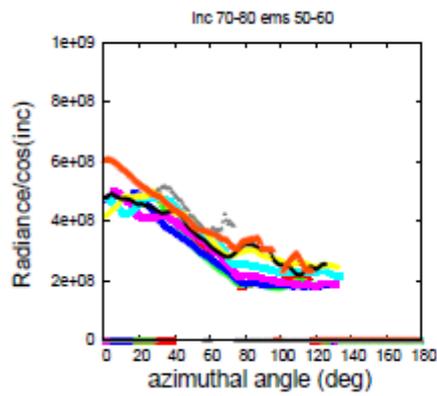
☒ 4.1.66



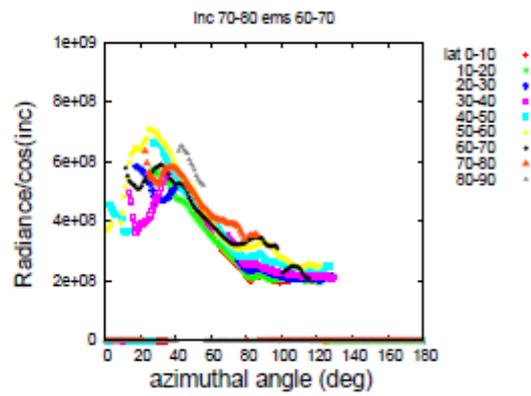
☒ 4.1.67



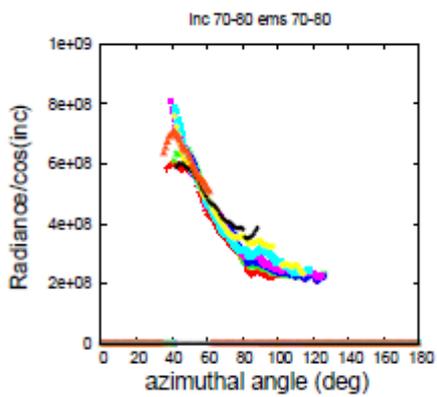
☒ 4.1.68



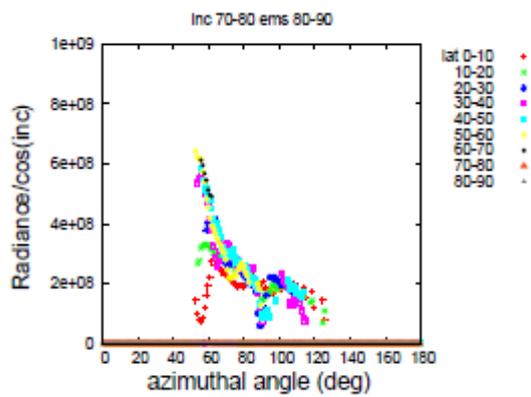
☒ 4.1.69



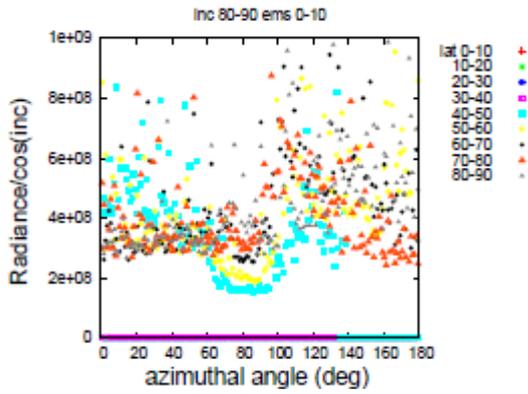
☒ 4.1.70



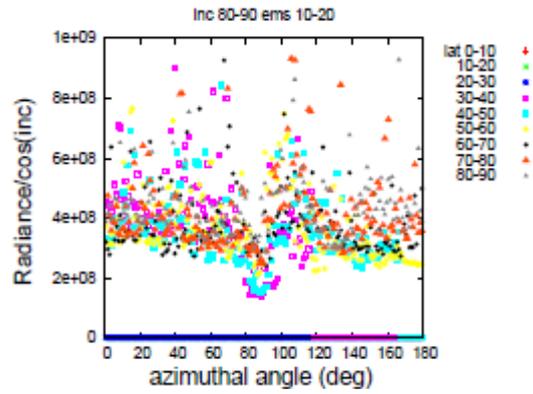
☒ 4.1.71



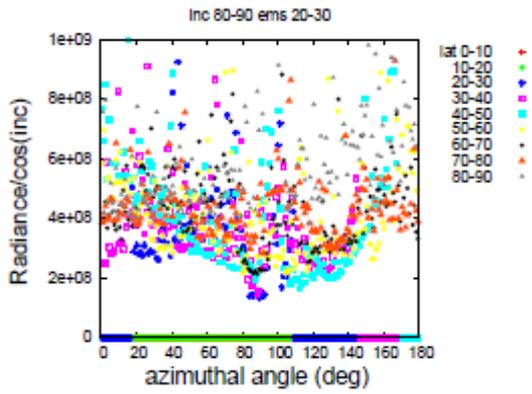
☒ 4.1.72



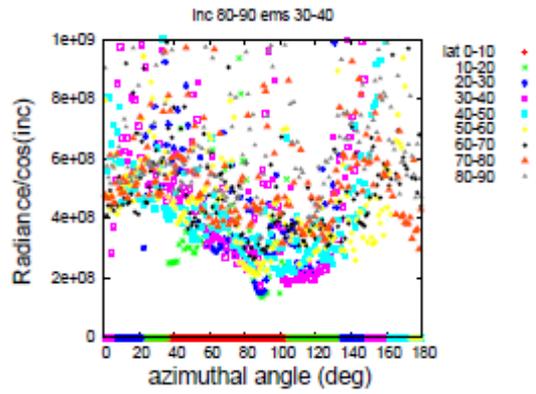
☒ 4.1.73



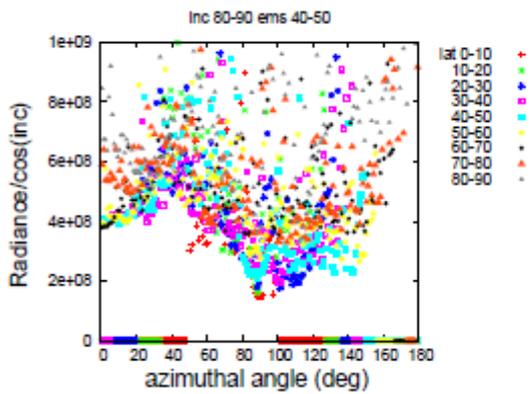
☒ 4.1.74



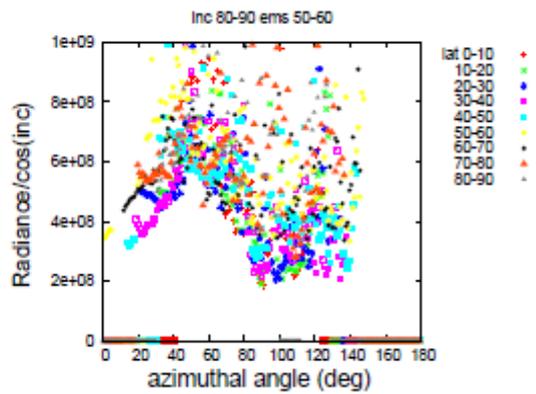
☒ 4.1.75



☒ 4.1.76



☒ 4.1.77



☒ 4.1.78

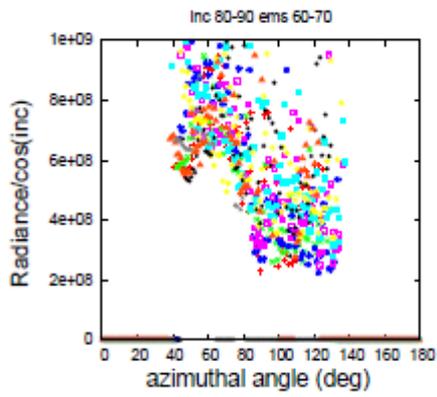


図 4.1.79

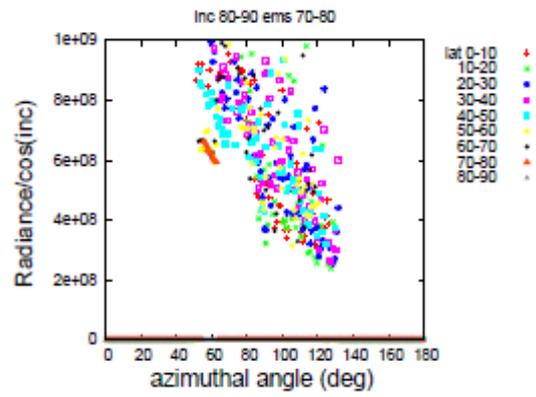


図 4.1.80

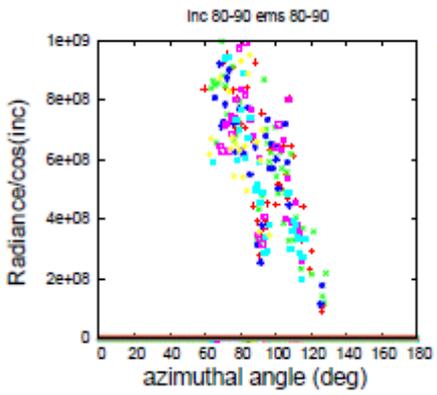


図 4.1.81

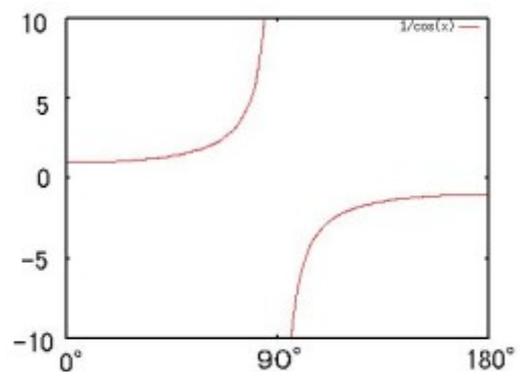


図 4.1.82 1/cos(x)のグラフ

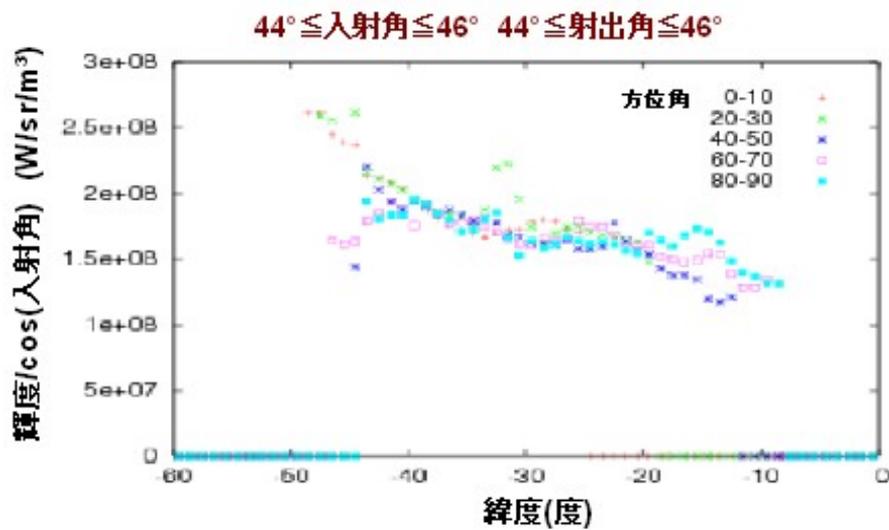


図 4.2 反射率の緯度変化

# Chapter 5

## まとめ

本研究のまとめは以下の通りである。

### 1. データを解析するための道具を作成。

入射角、射出角、方位角、緯度、経度を計算するためのプログラムの作成。

入射角、射出角、方位角、緯度、経度などを指定して、その条件に合致したデータを取り出すプログラムを作成。

### 2. 反射率の入射角や射出角や方位角に対する緯度依存性を調べた。

入射角が増加するにつれて、反射率の方位角に対する依存性が大きくなった。

射出角が増加するにつれて、反射率の方位角に対する依存性が大きくなった。

### 3. 入射角、射出角、方位角が同じデータだけを抽出して反射率の緯度依存性を調べた。

結果、反射率は南半球において高緯度で大きくなることがわかった。

このことから、吸収物質の分布が緯度によって違うことが示唆される。

# 謝辞

本研究を行なうにあたって、辛抱強く御指導下さったはしもとじょーじ准教授に心より感謝申し上げます。

また同じ研究室の宮後巧氏、小川修平氏には貴重な時間を割いて、文章の添削をしてもらったこと、図の作成など研究を進めるにあたり大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

## 参考文献

山田学、山崎敦、今村剛、渡部重十(2008) 一番星へ行こう！日本の金星探査機の挑戦  
その5～紫外イメージャ UVI ～, 日本惑星科学会誌遊星人, 17(3), 189-192.

ESA Science & Technology : Venus Express, URL:<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=64>

Venus Monitoring Camera, URL: <http://www.mps.mpg.de/en/projekte/venus-express/vmc/>