

通信総合研究所における アダプティブ光学の開発

Developments of Adaptive Optics at Communications Research Laboratory

高見英樹、片埜宏一、廣本宣久、板部敏和、有賀規

Takami Hideki, Kataza Kouichi, Hiromoto Norihisa,

Itabe Toshikazu, and Aruga Tadashi

郵政省通信総合研究所

Communications Research Laboratory,

Ministry of Posts and Telecommunications

Abstract

We are developing adaptive optics to achieve diffraction limited images in near-infrared wavelength. The principle of the technique is as: measures a wave front error caused by atmospheric turbulences, then deforms shape of optics as to compensate the error in real time. We show here results of basic experiments of a wave front sensing system and a deformable mirror.

アダプティブオプティクスの概要

地上の望遠鏡によって得られる星の像は、大気の影響のせいで回折限界で決まる分解能に比べてはるかに大きくなってしまふ。これを克服する技術としてアダプティブオプティクスがある。この概念図を図1に示す。星からの光は大気の無い宇宙空間では平面波で来るが、地球大気の密度揺らぎによって局所的な位相の変化を受け望遠鏡のところでは乱れた波面になっており、これによって星像のぼけが生ずる。アダプティブオプティクスは目的の天体からくる光の波面の乱れ（位相のずれ）を高速で測定し、それが補正されるように光学系（通常は鏡面）を波面の形に合わせて変形させることによって実時間で回折限界の像を得る技術である。表1に各波長における大気揺らぎの典型的なパラメータを示す。ここで r_0 は波面の位相がその中では一定と見なすことの出来るサイズで、 $\lambda^{6/5}$ に比例する。また Δt は位相が変化するタイムスケールであり、この時間間隔で波面測定をしなければならない。ここで望遠鏡の口径を D とすると波面測定のに必要な測定点の数はおよそ $(D/r_0)^2$ となる。

λ (μm)	r_0 (cm)	Δt (msec)
0.55	20	3
2.2	106	16
5.0	282	42

Table 1. Parameters of atmospheric turbulence at several observed wavelength. r_0 is a typical scale of turbulence which is considered to have constant phase in it. Δt is also typical time scale of turbulence. These values are correspond to a seeing size of 0.6 arcsec.; good condition at

鏡面を変形させるのに必要な制御点の数もこれとほぼ同数必要となる。表からわかるように観測する波長が長くなると測定及び制御するべきデータ量と速度が急速に少なくなる。それ故、アダプティブオプティクスを実現するには（少なくともその初期には）赤外線領域が適している。

表に示した大気揺らぎのパラメータはシーイングサイズ0.6秒角に相当するもので（ハワイ、マウナケア山頂での比較的條件の良いときの値）、日本でのシーイングサイズは平均3秒角であり、その場合には r_0 は1/5倍になる。通信総研には口径1.5mの望遠鏡と赤外線カメラ（1~2.5 μ m用）があり、これを用いてアダプティブオプティクスによって回折限界像を実現することを目標にしている。このとき波長2.2 μ mでは $D/r_0 \sim 7$ 、測定及び制御するべき点数は約50点となる。この値はシーイングの違いを考慮すると現在マウナケアで建設中の8mクラスの大望遠鏡で行うのとほぼ同じ制御点数となり、将来これらの大望遠鏡でアダプティブオプティクスを実現するためにはちょうど良い。

開発するべき技術と通信総研における開発の現状

1. 波面測定

波面を高速で測定する方法は数多く提案されているが、主なものとしては波面の傾き（一次微分）を測定する Shack-Hartmann センサと波面の曲率（2次微分）を測定するロディエカメラがある。われわれはこのうち後者の実験を始めている。この方式の簡単に説明すると、望遠鏡からの収束光の焦点を中心にして対象な2点においてピンボケの像を撮る（図2）。その強度を I_1 、 I_2 とすると、 $(I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$ がちょうど波面の曲率を表している。これによってインコヒーレントな星からの光でも高速に波面測定が出来る。我々は現在人工光源をと高速レチコンカメラを用いてこの方式による測定の感度と精度の評価を行っているところである。

2. 鏡面制御

波面の補正は主鏡で集光したあとの光路にある小さな鏡を変形させて行う。鏡を変形させる方法としてわれわれはバイモルフ可変形鏡の開発を行っている。これは径10cmの薄いガラスと圧電セラミックス（ピエゾ）を張り付けたもので、ピエゾのある部分に電圧をかけるとそこが伸び（縮む）るのに対してガラスは伸びないためその部分の曲率を変えることが出来る（図3）。この方式は鏡面の曲率を直接与えることが出来るので、ロディエカメラの出力を制御信号としてそのまま使えるという利点がある。これまで電極を1つだけ取り付けて特性を測定してきた。オープンループで制御すると素子のヒステリシスや時間遅れが大きいので、クローズドループの制御を行うと500Hzまでは必要な変形量（約1 μ m）と精度（3%）が得られている。

3. その他の技術

その他に、波面センサと可変形鏡をつなぐ制御システム（誤差信号を直接与えるだけでは不十分）の開発が必要である。これについては検討を始めたところである。また将来的には目的の天体の近くに人工的にガイド星を作る、レーザーガイド星の開発も重要である。

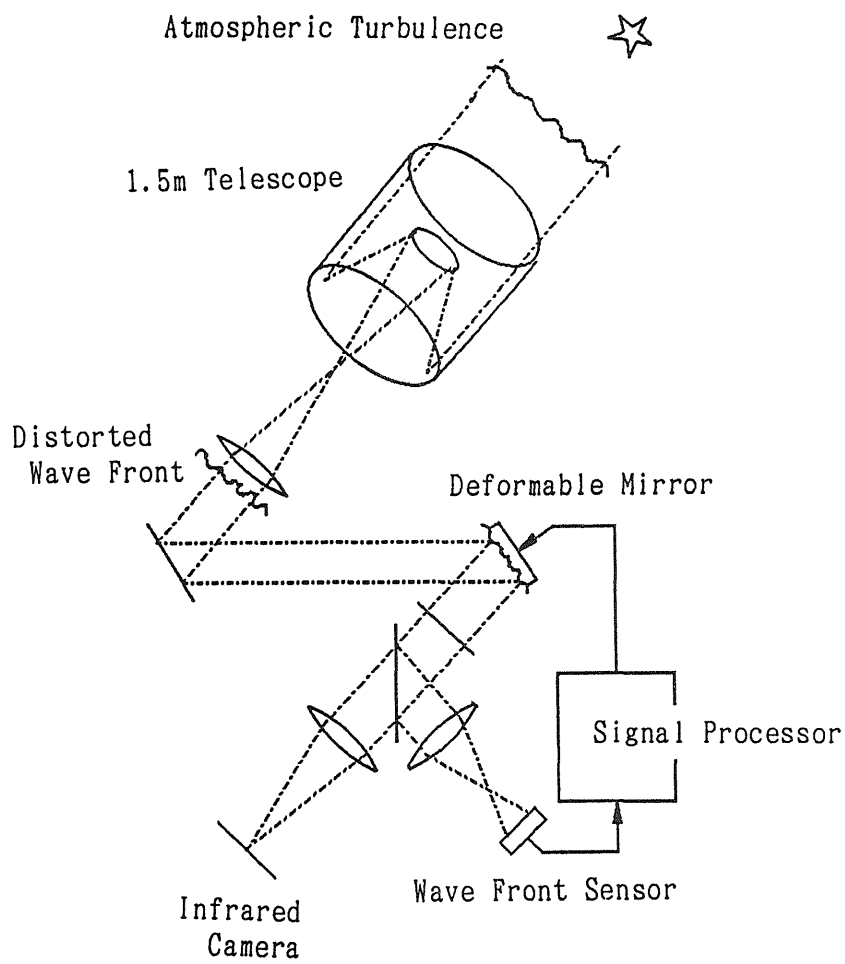


Fig.1. Schematic diagram of Adaptive Optics system at CRL

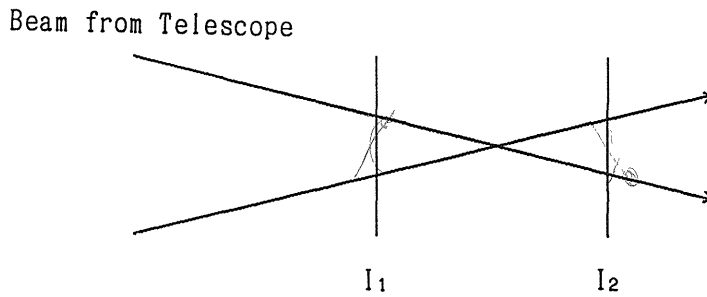


Fig.2. Conceptual diagram of curvature sensing system (Roddier Camera).
Wave front curvature is proportional to $(I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$.

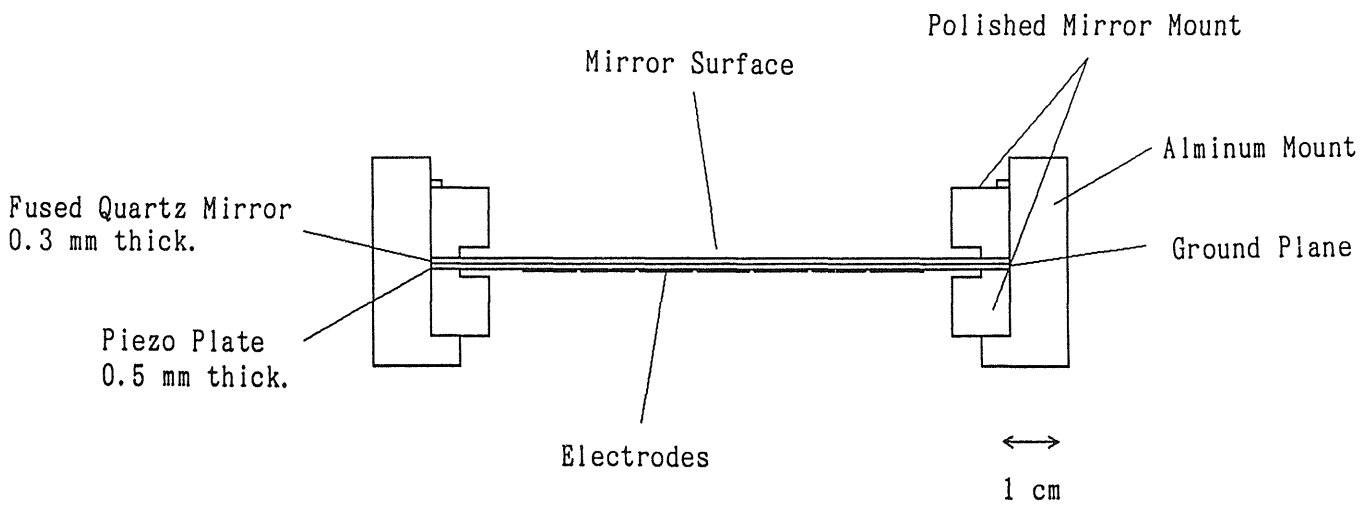


Fig.3. A cross section of bimorph deformable mirror.