

赤外域における自然背景放射の測定法に関する研究

岡山職業能力開発短期大学校 玉重 繁 良

A Study on The Measurement System for Natural Background Radiation in the Infrared Region

Shigeyoshi TAMASHIGE

要約

今日のオプトエレクトロニクス分野は可視光から、赤外の領域の研究・開発に、その主流が移行している。この事を背景に、我々は可視カメラを用いて構成されているこれまでの各種監視・探知システムから、赤外域をも包括したより高精度なシステムの構築を目指している。

本報告では、昼・夜間の区別なく観測に利用できる中・遠赤外放射を応用したシステムを中軸として考え、対象となる目標物だけでなく、その背景からの情報をあらかじめ把握しておくことで、より高精度な監視・探知システムを実現できることを示す。

具体的には、可視から中・遠赤外域までを測定領域にしたシステムの基本構成、赤外放射測定装置の製作、及び試作機を用いて得られた結果について述べる。

特に、自然背景放射の測定の結果、季節の違いによって背景放射のレベルが大きく異なり、それが監視・探知システムの正常な動作の妨げになる事が判明した。この結果を、画像計測システムに適応した場合、自然背景放射の影響を除去できる事が分った。このように、自然背景放射に対する測定・考察が重要である事が示される。

I はじめに

自然災害・人工災害を問わず、それらからの被害を最小限に押えるために種々の監視システム、及び探知システムが開発され利用されている。最近では、雲仙普賢岳における火砕流等による災害にみられるように、その被害は、単なる自然災害として片付けられない深刻な問題となっている。このような被害を最小限に押さえるために必要な監視システムとして、昼・夜間ともに利用できる不可視光、とりわけ赤外放射に注目した光電子計測システムの実現が急務である。

これまで、我々は赤外放射を応用したより高精度な監視システムを実現するために、対象となる目標物だけでなく、その背景からの赤外放射分布等の情報をあらかじめ把握しておく必要がある事を明らかにしてきた⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾。本研究の目的は、赤外背景放射に注目して、

その調査及びその測定・解析法についての検討を行い、S/N比等の監視・探知システムの性能向上を企てることである。今回は、その第一段階として可視から中・遠赤外域までを対象に構成した基本システムの概要と放射測定装置の試作結果について報告する。またそれらを用いた赤外背景放射の測定結果を基に、二次元画像データの二値化による目標物抽出処理を行ったところ、その有用性が確認できたので報告する。

II 計測システムの基本構成

最近の監視・探知システムは、二次元・三次元の計測が可能なことから各種撮像機を主軸としたものが主流になっている。さらに、リアルタイム画像処理機能を有している等、機能向上に著しいものがあり、有用なシステム構成が期待できる。しかし、測定対象の放射エネルギー・レベル（または測定温度）がほぼ推定出

来る場合、或いは広い視野を対象としない場合には、比較的価格・高精度・多機種（多波長域）等の利点を有する放射計（放射温度計）を活用すれば、測定目的によっては有用なデータが安価に入手出来ると考えられる。例えば産業用ボイラの燃焼状態の監視システム等で、必ずしも全状況を把握する必要がない場合には、この放射計が適している。

また、自然背景放射は天空放射と地表放射に分けられ、更に赤外領域における天空放射は、太陽放射の散乱成分と大気構成要素である気体分子、雲などからの熱放射、及び大気光の3成分に区別することができる。これらの背景放射の詳細な解析には、スペクトル分析が不可欠であり、分光計測システムが必要になる。

以上のように、その測定対象となる目標物及び背景からの情報の種類によって、区別して使用する必要性から、本研究においては次の3種の計測システムを試作検討した⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

- 1) 一次元（垂直、水平）分布等の測定を目的とする
帯域別放射計測システム
- 2) 分光分布等の測定を目的とする
分光放射計測システム
- 3) 二次元、三次元分布の測定を目的とする
赤外画像計測システム

現在市販或は試作されて、いろいろな分野で利用されている赤外線放射計、赤外線撮像装置等の機器を検討し、これらの目的に沿って次の様に構成した。1)に中赤外域（8～13 μm 帯）放射計と記録計（図1）、2)に回折格子型分光器、集光光学系、光学フィルタ、赤外線検出器、記録計、信号処理用パソコン等（図2）、3)にステルカメラ（可視・近赤外フィルム）、可視域（0.4～0.76 μm 帯）・近赤外域（0.76～1.8 μm 帯）・中赤外域（8～13 μm 帯）用撮像機、ビデオレコーダ、簡易型パソコン画像処理装置等（図3）である。

個々のサブシステムについては、章を変えて順を追って述べる。しかしながら、この3種のシステムを校正するために、測定基準となる黒体放射源（黒体炉）が必要である。標準光源としては、波長特性がプランクの黒体放射則に従うこと及び高放射率であること、さらに自然背景放射等の測定を行う場合に、対象がいろいろな温度分布をしていることを考慮すると、それに対処するために放射面の温度制御が容易であることが必要条件になる。筆者らは、放射体としての各種セラミックス材料の分光放射特性の研究の結果、高放射率で温度制御が可能なセラミックス・ヒータが低温疑

似黒体として適切であることを明らかにしてきた⁽¹⁰⁾⁻⁽¹³⁾。

図4に、今回用いた面状セラミックス放射体の外観写真を示す。また、セラミックス放射体の分光放射特性を図5に示す。図中の○印が今回用いた放射体の特性

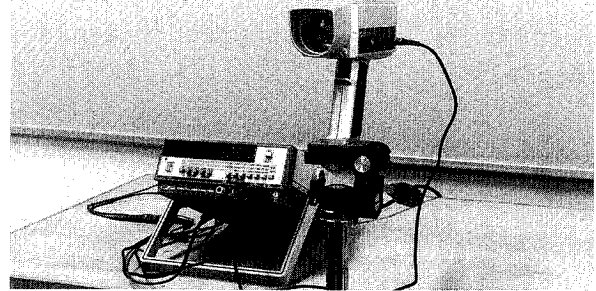


図1 赤外放射計の外観

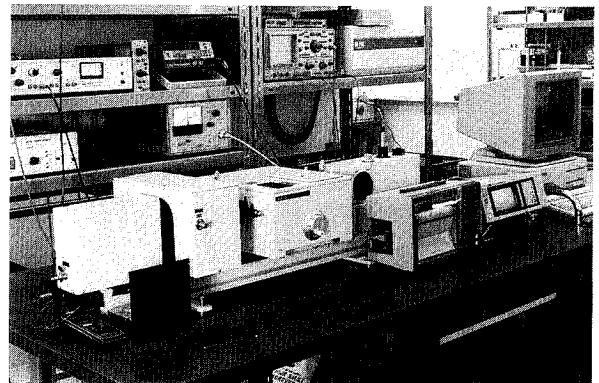


図2 分光計測システムの外観

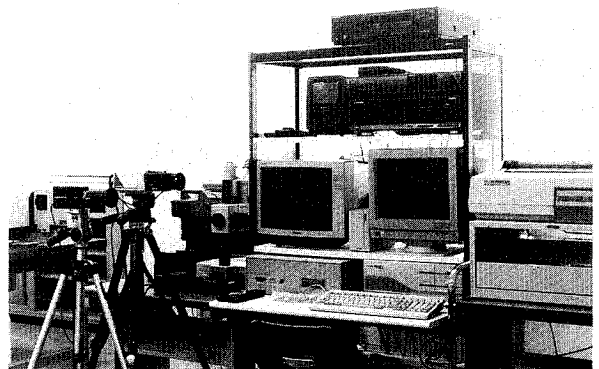


図3 画像計測システムの外観

性であり、他のものと比較して示している。この結果は(1)3～14 μm の波長域で平均0.98の高放射率、(2)その全波長域を通して平坦な特性を示しており、簡易黒体放射源として最適であることが分かる。また、常温で使用する試作黒体炉の外観を図6に示す。

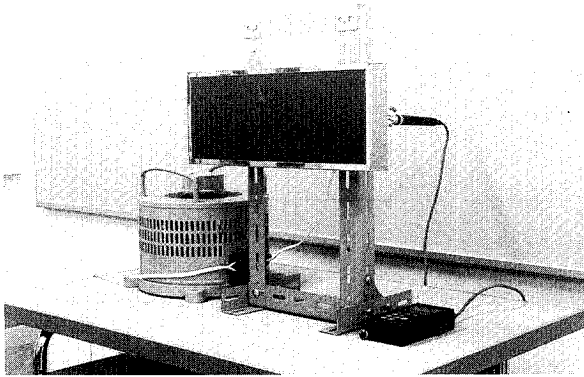


図4 疑似黒体として用いた面状セラミックス・ヒータ

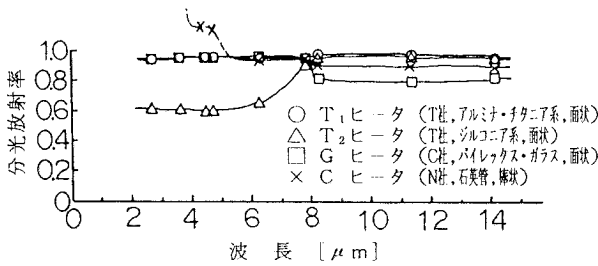


図5 セラミックス放射体の分光放射特性

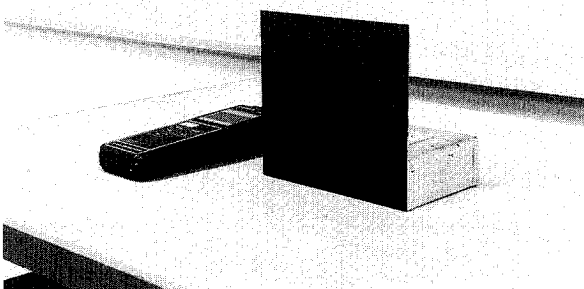


図6 試作常温黒体放射源の外観

III 帯域別放射計測システムとその測定結果

ここでは放射温度計(波長域：8～13 μm 帯)を帯域放射の測定装置として使用した時の、天空背景放射の天頂角依存性の測定結果を図7、図8に示す。今回使用した放射計はサーモパイルを検出器とし、検出波長

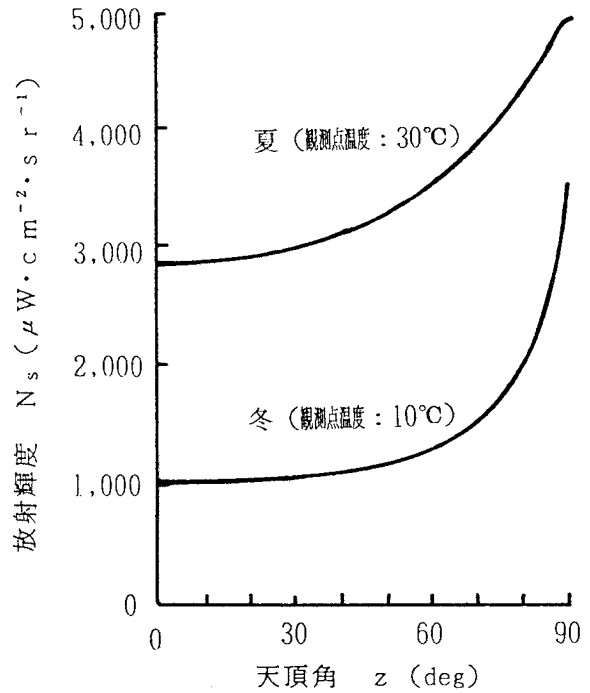


図7 晴天時の天空背景放射の天頂角依存性

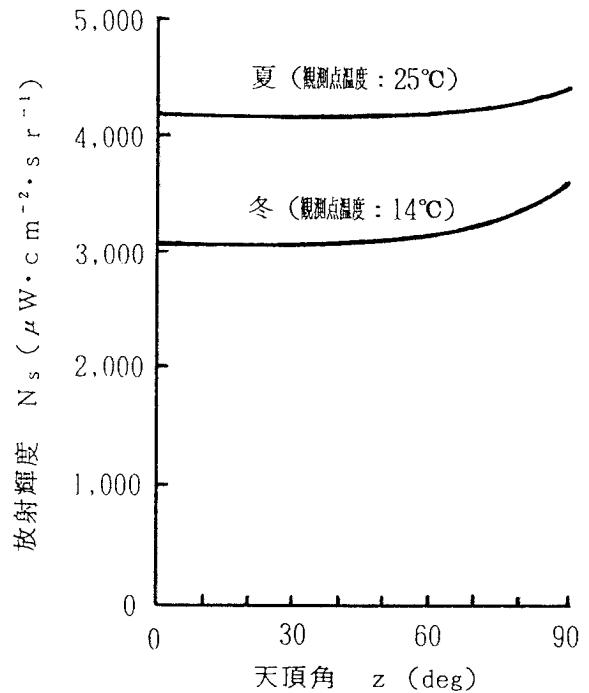


図8 曇天時の天空背景放射の天頂角依存性

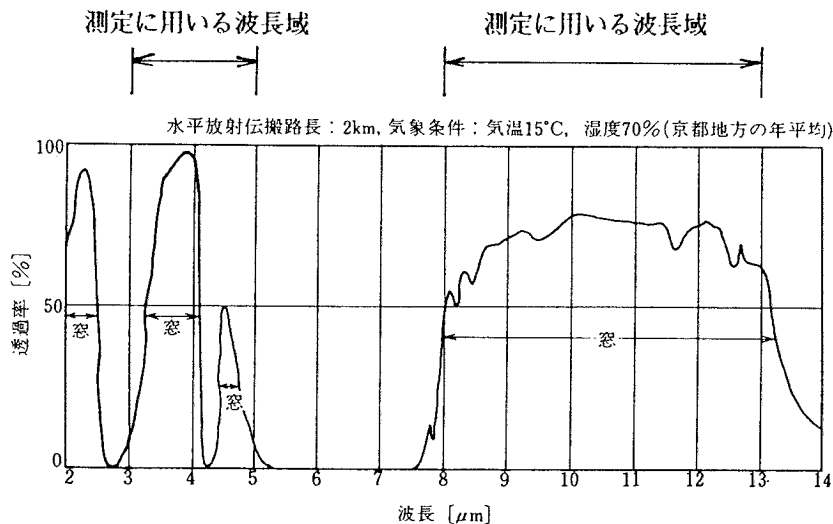


図9 大気の透過特性(窓領域)

域を光学フィルタで図9に示すような大気の窓領域である8~13 μm 帯に合せてある。

これらの結果は夏季と冬季の晴天時或いは曇天時(全天がほぼ一樣の場合)の天空放射の違いを示すものである。これらの違いは主として500m以下の大気層からの放射(大気放射)によるものである。天頂角90度で放射輝度が最大となるのは、地表付近の大気層が見掛け上、最も厚くなる為である。また、曇天時は晴天時に比べて、放射輝度の変化が少ない。これは湿度の増加及び比較的低層の気温からの大気放射が支配的になる為である。

夏季と冬季の放射輝度の差は、夏季は冬季に比べて気温が高く、絶対湿度も高いため光路中の大気放射レベルが高くことに因るものである。特に夏季には天頂角80度以上の変化分が冬季に比して小さい。これは一般に地上(或は海面)付近の気温が高く、絶対湿度が高い大気層の増加、及び気温の鉛直分布において逆転層が生じやすいことが原因と考えられる。このことは監視対象となる目標物が地上(或は水平線)付近にあ

る場合に、その背景となる天空放射の高放射輝度帯の幅が広い程、より大きい目標物とのコントラストの低下を招き、システムの誤動作の要因になる。冬季は、この結果から比較的小さい目標物に限られるので、殆ど問題ないと考えられる。

これらの図については、さらに春季及び秋季データを加えて四季を通じての結果として完成すべく、継続して測定を行っている。また、測定に適切な条件を設定すること、及び解析に確率的要素を含める必要がでてくるが、雲が点在する場合の曇天時を対象とした測定を次の段階として考えられる。

IV 分光放射計測システム

今回製作した計測システムは、回折格子型モノクロメータに集光光学系、赤外線検出器(真空熱電対, PbSe, PbS, Si-Photodiode 他)、光学フィルタ等を組み合わせて構成した。そのブロック図を図10に示す。この計測システムの動作波長域は3種の回折格子を交

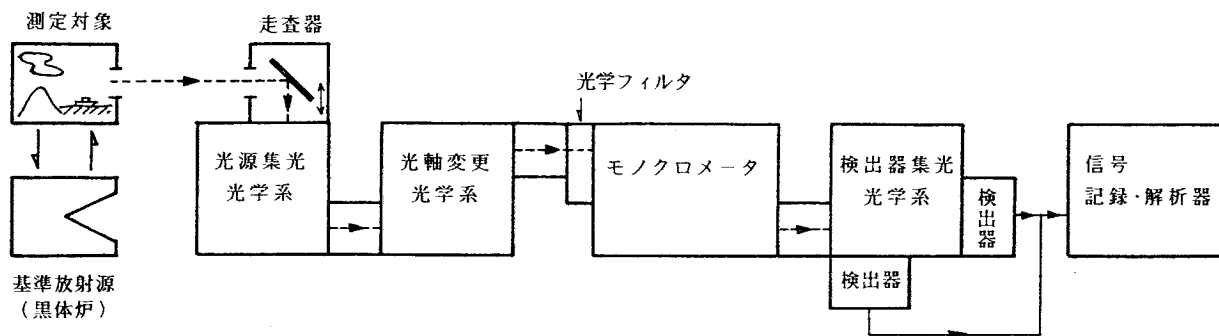


図10 分光放射計測システム

換する事によって、1)0.3~2.5 μm 帯、2)1.5~5 μm 帯、及び3)3~12 μm 帯が選択できる。

このシステムは、現時点ではその第一段階としての中・高温放射体の分光分布の測定が可能になったところであり、常温付近の自然背景放射を対象にした低温放射体の測定は出来ない。これはその出力信号レベルが測定対象物の温度とシステムの検出器の温度差に依存することに起因するもので、常温に近くなる程、周辺物体からの放射が無視出来なくなる。具体的には出力信号のS/N比の問題となる。この解決策として、極低温冷却型赤外線検出器或は極低温基準放射源を用いる方法が考えられる。ここでは後者を用いて、常温の自然背景放射の測定が可能分光計測システムに改良をすることを考え、装置の製作を進めている。

V 赤外画像計測システム

このシステムの基幹となる機器は撮像部の赤外線映像装置（サーモグラフィ）であり、現在実用に供されているものは、その検出波長域が3~5 μm 帯と8~13 μm 帯の2種である。これは比較的、大気の透過率の高い2つの窓領域（図9参照）に合致している。

ここで、映像を利用する、より高精度な監視・探知システムを構成する場合には、可視から近・中・遠赤外域までの広波長域を包括する各種撮像機を具備する必要がある。図11に今回我々が試作したシステムの概要図を示す。可視域と近赤外域用及び中赤外域(8~13 μm 帯)の映像装置を用いている。また、このシステムがあらゆる条件下で正常な動作を行うには、目標物とその背景放射の定性的な性質を把握しておくことが不

可欠となる。そのためには、膨大なデータの蓄積が必要である。我々は、図11に示すように、VTRテープ及びフロッピー・ディスク等の容量の大きな記録媒体を用いている。従って、経時変化、四季の違い等のいろいろな場合のデータの蓄積、及びその後の画像処理システムでの解析を容易にしている。

取得した映像は、そのままでも十分に監視システム等のデータとして活用できる場合もある。しかし、さらに図11の様な画像処理システムを導入することにより、低コントラストの映像や複雑な分布状態の映像などから目標物を抽出でき、より有益なデータが入り易くなる。

ここでは自然背景放射の測定対象として、最もその影響を受け易い海面・天空を選び観測を行った。その中から、画像処理システムを用いて処理した二つの典型例を図12、図13に示す。図12(a)に示すように、天頂角90°に近い水平線付近を対象とした観測においては、III章で述べたように、中赤外域では夏季に広い放射輝度帯が出現し、これが海上の船舶から島嶼までを覆い、それらの監視・探知が困難になることがわかる。この対策の一つとして、同図(b)のように2値化処理を行うことで、島嶼を鮮明化させることができる。つまり、いま島嶼を目標物、それ以外の海面・天空を背景とした場合に、この処理で背景放射のレベルをゼロにすること、即ち低コントラストの映像から、背景の部分差し引くことにより、比較的原形に近い島嶼を抽出することができ、リアルタイムにこのような処理を行うことで、監視・探知システムの正常な動作を可能にするものである。

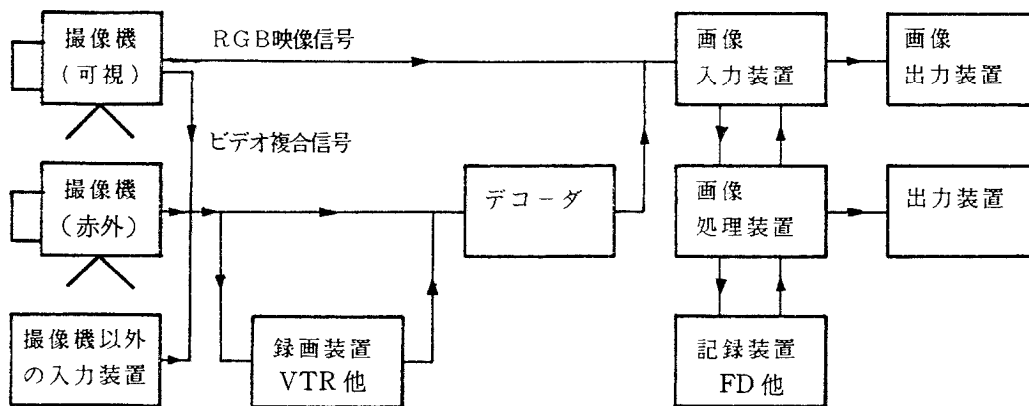


図11 赤外画像計測システム

第二の例である図13は複数の撮像機からの映像を合成して、より多くの（多波長域的な）情報を同一画面に集約するものである。これは、可視像の中に赤外線（放射輝度分布曲線）を組み入れること、言い換えると、太陽光の反射映像に自己放射による映像を加えたものになっている。このことは、例えば天空を背景とした監視・探知システムを考える場合に、可視域では明るい背景である晴天天空が、中赤外域では低温の暗い背景であることを同一画面で示すものであり、人間の視覚で見落としがちな部分を補い、より高精度なシステムの動作が期待できる。

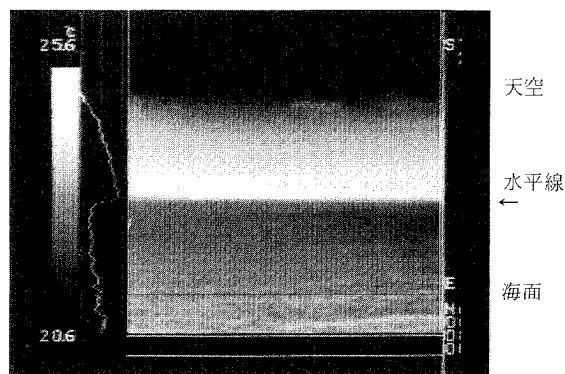
ここで、監視システム等を構成する場合に、3～5 μm帯と8～13 μm帯のいずれの波長域が有利かは、その報告例は多くない。観測対象までの距離に注目して、その光路に減衰要素となる大気成分(H₂O, CO₂, O₃等)がどれだけ存在しているかによるが、上記2波長領域、数10Km以上の観測では3～5 μm帯が有利という報告例がある⁽³⁾⁽⁸⁾。

また、これらの撮像装置自体の特性面に注目すれば、6年前にJIS規格品に準拠するようになって以来、実用化を目差した他分野の開拓とともに、監視システムへの適用については、いずれの波長域が最適であるかという具体的な問題として取り上げる必要がある。そして、最終的には、使用目的及び測定対象によって、いずれの波長域の装置が有利かを判断する必要がある。我々も、これらの二つの観点からの最適波長域に関する評価を今後の課題としたい。

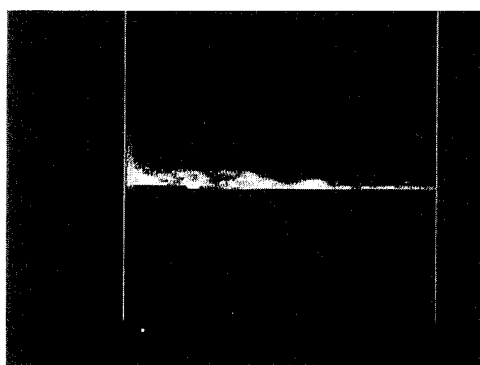
VI おわりに

監視システムや探知システムなどで、これまで明確にされていなかった自然背景放射分布の影響を明らかにするために、赤外線計測システムを構成し試作した。そして、それらを用いて天空背景放射の天頂角依存性等の有用な基礎データを得た。また、この天頂角依存性のデータを基にした低コントラスト映像の処理例等を示し、これら自然背景放射を考慮した計測システムの有効性を実証した。

この成果は、光電子計測システムの分野のみならず、各種計測システムに於いて、その性能を評価する場合に不可欠であるS/N比に関する実例として、講義・実習・能力開発セミナー等にも活用できると考えている。そして、今後はシステムの充実をまって、赤外放射を主軸とした光計測技術の指導及び基本測定データの提供等に寄与出来ると確信している。



(a) コントラストの低下した水平線付近の赤外映像



(b) 2値化処理後の画像

図12 コントラストの低下した映像の画像処理例

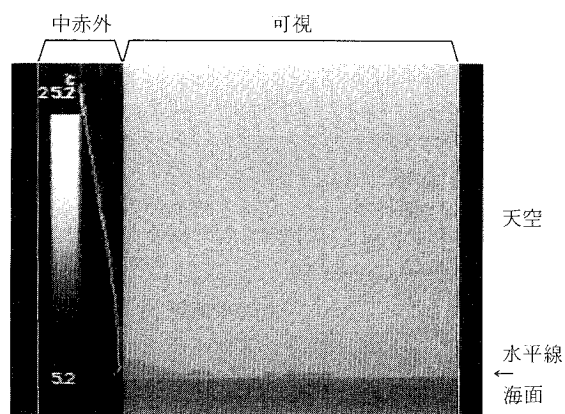


図13 可視と赤外映像の合成画像処理例

謝辞

最後に、この研究をまとめるにあたって、福山大学工学部教授松井松長先生にご指導を戴いたこと、実験データの作成には卒業研究生（井殿一成、加藤雅基、西本拓司、藤原章由君）の手を煩わせたこと、及び指定研究費の援助を受けて行ったことを、ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

- (1) 松井松長、近藤 哲、玉重繁良：日本赤外線学会誌、Vol.1,NO.2 (1991.12) 51～59。
- (2) 松井松長、玉重繁良、高木 亨：福山大学工学部紀要、7 (1985) 10～17。
- (3) 松井松長、玉重繁良、森田康正、中辻俊一：電気学会光応用・視覚研究会資料、LAV-88-2(1988.2) 9～17。
- (4) 松井松長、高木 亨、中村 理：電気四学会中国支部連合大会講演予稿集、100616 (1984)。
- (5) 松井松長、玉重繁良、高木 亨、中村 理：電気四学会中国支部連合大会講演予稿集、020606 (1985)。
- (6) 松井松長、玉重繁良、高木 亨：電気四学会中国支部連合大会講演予稿集、040621 (1986)。
- (7) 松井松長、玉重繁良、森田康正、中辻俊一：電気四学会中国支部連合大会講演予稿集、020622 (1987)。
- (8) 板倉安正：赤外線探知系の最適動作波長域並びに相互相関検出方式に関する研究、学位論文(1974)。
- (9) 松井松長、玉重繁良、増田真一：日本産業科学研究所研究報告、4 (1987) 1～6。
- (10) 高木 亨、松井松長、玉重繁良：福山大学工学部紀要、3 (1981) 1～5。
- (11) 高木 亨、松井松長、玉重繁良：福山大学工学部紀要、5 (1983) 7～13。
- (12) 玉重繁良、松井松長、高木 亨：赤外線技術研究会第41回研究会資料、103-7 (1980)。
- (13) 玉重繁良、松井松長、高木 亨：赤外線技術研究会第44回研究会資料、122-5 (1982)。