

アマモ生育水域の物質循環に関わる環境因子の特性

今村 正裕*・松梨 史郎**・本多 正樹***・川崎 保夫****

多様な沿岸生態系の中でも藻場・干潟・さんご礁は重要な役割を果たしている。特に、藻場（アマモ）生態系では水質・堆積物生化学環境の両面から定量的な議論が求められている。本研究では、物質循環の観点からアマモの生育水域の堆積物や水質といった環境要因特性を把握することを目的とし、神奈川県油壺湾のアマモ場で連続観測を行った。その結果、光・懸濁物沈降物に代表される物理環境、堆積物中のペントスおよび栄養塩に代表される堆積物生化学環境を把握することができた。さらに、アマモがあることによる周辺環境の違いを考察し、アマモ生態系の果たす役割を検討した。

1. はじめに

平成 11 年 6 月から施行された環境影響評価法では、干潟や藻場に代表されるような生物が多く生息する場を対象に、注目種の分布や対象周辺の生態系にまで踏み込んだ予測評価が求められている。沿岸公共事業や藻場干潟創造計画においても、藻場や干潟に注目しその場に生息する生物環境さらに生態系全体を対象とした物質循環的な視点からのアプローチが必要となっている。最近では、小規模な漁港を対象とした環境創造が数多く計画されているが、藻場は 2 次的にできる副産物的扱いを受けているにすぎない。しかしながら、海生植物「海藻」の代表であるアマモは、砂泥域に繁茂し、水系の一次生産者である植物プランクトンと同様に、海中や堆積物中の栄養塩を固定するといった物質循環の側面において重要な役割を果たしている。アマモは、岩礁域の藻場と異なり、根からも栄養塩を吸収する（川崎ら, 1988）。そのため、アマモ場内では堆積物中の物質挙動把握も重要である。堆積物表層では、水系から植物や動物の死骸、陸起源の有機物が沈降し、それらをペントスやバクテリアなどの底生生物が分解し無機の栄養塩として堆積物内で生成されており、底生生物の把握も重要な課題である。

このような、堆積物環境や干潟を代表とした底生生物の研究は数多く行われてきた（例えば鈴木, 2000）。これらは、潮汐により堆積物が露呈する領域や、常に海水面下にあってもアマモがない場所を対象としており、アマモ場内の物質循環やアマモと底生生物の関係について定量的に検討されている例は少ない（伊豫田ら, 2002）。

著者らは、アマモ場とその周辺の生態系に着目し、光や懸濁物量等の物理環境と堆積物中の底生生物等の役割を通し、アマモ生育水域の物質循環解明を目的に研究を実施している。本報告では、これらの物質循環に関わる環境因子特性を把握するため、アマモ生育の有無による物理環境（光、懸濁粒子量）・堆積物生化学環境・底生生物

物分布の違いについて検討した。

2. 観測地点と方法

調査領域は、東京大学理学部付属三崎臨海実験所の記念館前面（神奈川県油壺湾）に現存する *Zostera marina* の群落である。同湾は、風の影響を受けにくく常に穏やかな領域である。群落は大きく 2 つに分かれており、大きい群落について主に観測を行った。

物理環境の調査は、光量子束密度計（アレック電子 MDS/MARK-L）・水温計（アレック電子 MDS/MARK-T）による連続観測、簡易トラップによる懸濁物沈降量および元素組成の観測・分析を実施した。光量子束密度計は、図-1 に示すようにアマモ場の中央（L2）に鉛直上向きに設置した。水温計も同時に設置した。光量子束密度計は、懸濁物等によるセンサー部の汚れが測定に影響することが考えられたため、定期的に掃除をした。観測期間は、2002 年 5 月～2003 年 3 月である。一方、アマモ葉条長がもっとも長い 5 月～6 月および葉条長の短い 8 月～9 月に、アマモ場内と同時にアマモのない領域（L3）でも同様に光量子束密度計・水温計を設置しその影響を観測した。また、懸濁物沈降量の測定には自作のトラップ装置を、大小のアマモ群落間と沖合数 10 m の地点に

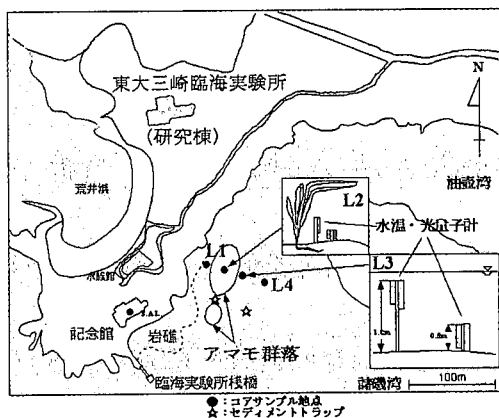


図-1 観測地点・測器設置概要

* 正会員 工博 (財)電力中央研究所 環境科学部 主任研究員
** 正会員 工博 (財)電力中央研究所 環境科学部 首席研究員
*** 農博 (財)電力中央研究所 応用生物部 主任研究員
**** 農修 (財)電力中央研究所 CS 推進本部

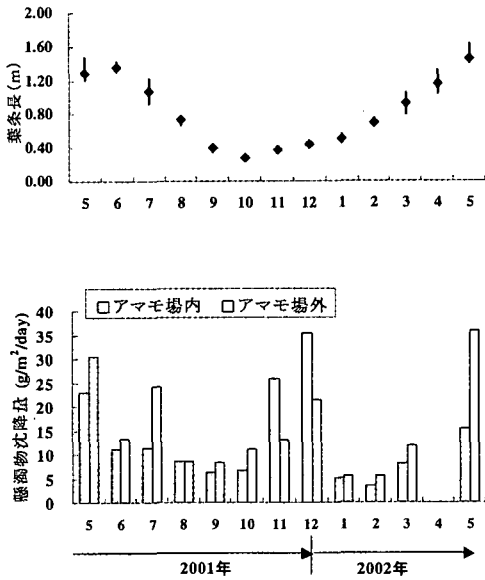


図-2 アマモ葉条長と懸濁物沈降量の季節変化

設置した。

堆積物生化学調査として、堆積物（アクリルコア（内径 5 cm）で採取）と直上海水を採取し、堆積物中間隙水の栄養塩分析を層ごとに行った。さらに、堆積物 0~10 cm については存在するベントスの同定・個体数・湿重量、クロロフィル a (*Chl.a*) および粒度組成等を分析した（年 4 回のみ L1・L2・L3・L4 同時観測）。いずれも、アマモ場中と外の 2 箇所に測点を設けた。なお、アマモ現存量（葉条長等）の調査も含む上記堆積物生化学調査は、2001 年 5 月~2002 年 5 月の間に実施した。

3. 葉条長の変化と光量子束密度・懸濁物沈降量の違い

図-2 にアマモ葉条長（1 株中でもっとも長いアマモ葉の長さ）の季節変化を示す。葉条長は、5~6 月に最長となり、徐々に葉が脱落し 9~10 月には最大時と比較し 1/4 まで短くなる。後述するが、アマモ群落内ではアマモ株の密度も季節的な変化をみせる。このようなアマモの成長変化がアマモ場周辺の環境を変化させていると考えられる。そこで、アマモ場堆積物表層への光環境を観察するために光の観測を行った（図-3）。その結果、アマモ場内の光量子束密度は、5~7 月まで 30~100 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) と低い値であった。同時に測定したアマモ場外の同水深帯では、300~600 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) と高く、アマモによる光の遮断でアマモ場内に到達する光が低くなったと考えられる。逆に、アマモ葉条長が短くなると堆積物表層への光到達量が大きく、9~12 月の光量子束密度はアマモ場中で高い。この時期は、植物プ

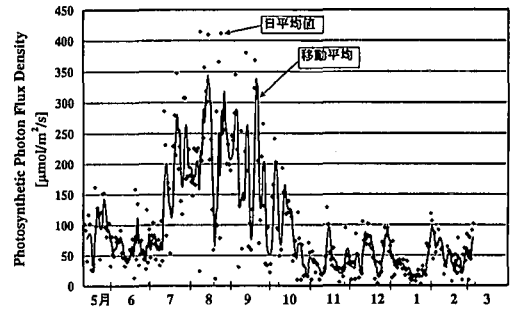


図-3 アマモ場内底面の光量子束密度変化

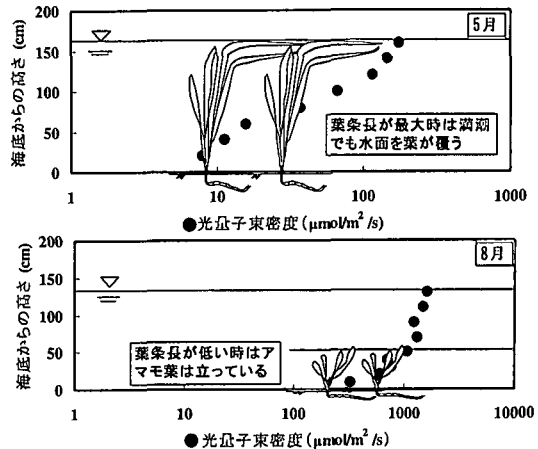


図-4 アマモ場内底面の水温変化

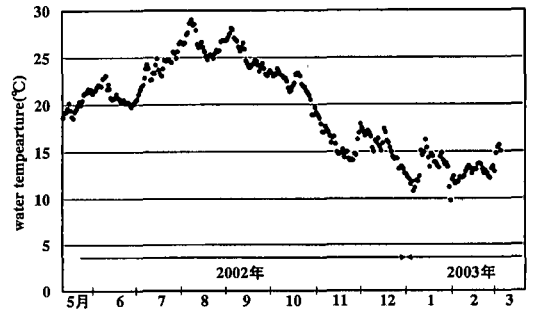
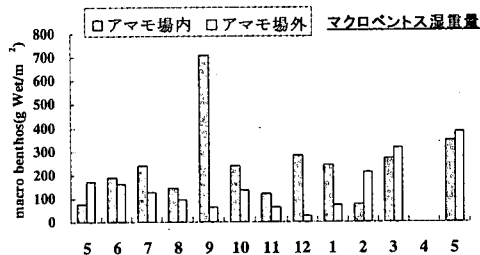


図-5 アマモ場内の光量子束密度束密度鉛直分布

ランクトンの増殖により海水自身の光減衰があるものの、アマモ場外でも 300~400 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) の値があり、アマモによる光減衰の影響が少ないことがわかる。また、2 月は日照時間も長く、光量子束密度も高いと推測されたが、この時期はアマモも伸び、加えて 2 月の海水中のクロロフィル濃度が高かったため、堆積物底面への光到達量がそれほど高くないと考えられる。

そこで、アマモ葉条長変化による光減衰の違いを把握するために、5 月と 8 月時にアマモ場内における鉛直方



図—6 マクロベントス湿重量の季節変化

向への光減衰について検討を行った (図—4)。アマモ場内の堆積物底面で光消散係数 (k) を測定した結果、葉条長の長い5月 (平均2.0 (1/m)) よりも葉条長の短い8月 (平均1.3 (1/m)) の方が、光消散係数は小さかった。海水のみの光消散係数を比較すると、5月は平均1.1 (1/m) でありアマモ場の方が大きく、8月は平均0.8 (1/m) でアマモ場内と同程度であり、アマモ場内の堆積物底面の光子束密度 (月平均値) も8月に年最大値 (1138 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) を示した。観測地点のアマモ群落の株密度は、5月が189 (株/ m^2) と密であり、8月には約半分の100 (株/ m^2) と疎になる。Zimmerman and Mobley (1996) が測定したアマモ場キャノピー内における光減衰の結果からは、株密度が半分になると光減衰は25%低下している。本観測では、両者間の葉条長が異なることもあり、株密度に加え葉条長による光減衰の影響で50%近い差が見られたと考えられる。

一方、水温の季節変化を見ると (図—5)、アマモ場内では、季節を通して外側よりも水温が1~2°C前後常に高いことが分かった。また、ここ数年の海水温を比較すると冬場の海水温が10°Cを下回ることが少なくなっており、アマモ葉上動物や堆積物中の動物に大きな影響を与えている可能性がある。

次に、懸濁物沈降量について検討した (図—2)。年間の季節変化はアマモ場中・アマモ場外ともに同様の傾向を示している。傾向としては、5月と11・12月が多くなる傾向を見せた。一方、アマモ場内・外で比較すると、葉条長が長い5~7月はアマモ場内への沈降物質量は小さく、外に比べ小さくなる傾向にある。また、葉条長が短い9~12月は、アマモ内への懸濁物質量は、大きくなる傾向をみせた。このように、懸濁物質や光の影響によって、堆積物表面に存在する植物・動物も、アマモの中と外ではまた異なった違いを見せた。

4. 堆積物生化学環境の違い

図—6 にアマモ場中と外のマクロベントス湿重量差の季節変化を、さらに表—1 にマクロベントス同定結果を示す。同定結果を見ると、アマモ場内では葉条長の長い

5月、衰退時期の8月は、ベントスの出現数・種類数がともに周辺地点より少なく、アマモ周辺 (L1・L3) 地点の方がかなり多い。一方、葉条長の短い11月、成長期2月には、アマモ場内のマクロベントスの出現数・種類数は周辺と同程度かそれ以上に多く、この時期のアマモ場

表—1 マクロベントスの同定結果

a) 5月

		15-May-01 (ind./46 cm ²)			
species	Japanese	L-1	L-2	L-3	L-4
NEMERTINEA	紐形動物門	1	2	5	2
Lumbrineris sp.		2		5	3
Maldanidae	タケフシゴカイ科	2	1	7	
Chone sp.		3	3	11	11
Polydora sp.		22		24	23
Terebellidae	フサゴカイ科	16	6	3	2
others					
合計		60	21	66	48
種類数		16	9	15	10
メイオベントス湿重量 (g wet/46 cm ²)		0.321		0.251	

b) 8月

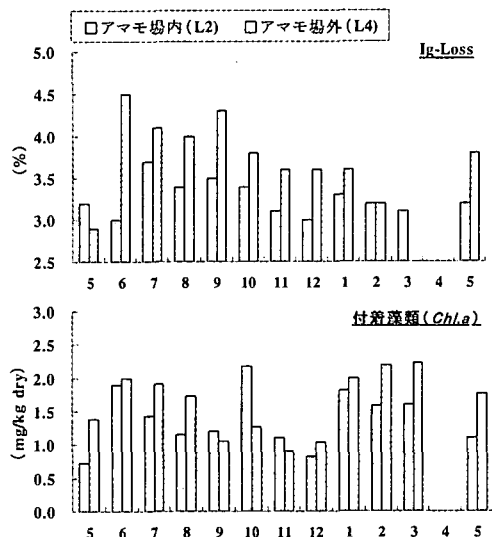
		15-Aug-01 (ind./46 cm ²)			
species	Japanese	L-1	L-2	L-3	L-4
Lumbrineris sp.		3	5	5	1
Nephtys sp.		10	3	1	1
Maldanidae	タケフシゴカイ科	1	1	5	4
Chone sp.		2	6	7	6
Polydora sp.		11	1	3	12
Terebellidae	フサゴカイ科	2	5	10	1
Muscus senhousia	ホトギスガイ	29	1		1
others					
合計		75	34	77	38
種類数		18	17	27	16
メイオベントス湿重量 (g wet/46 cm ²)		0.114		0.191	

c) 11月

		15-Nov-01 (ind./46 cm ²)			
種名	和名	L-1	L-2	L-3	L-4
NEMERTINEA	紐形動物門	1	3	3	
Domvillea sp.			3	6	
Hesionidae	オトヒメゴカイ科	5	4		
Lumbrineris sp.		13	2	5	1
Nephtys sp.		2	3	2	2
Maldanidae	タケフシゴカイ科	3	1	2	2
Paraonisidae	バラオニス科		11	3	
Polydora sp.		1		8	5
Prionospio krusadensis	ミツバネスピオ	4	1	3	1
others					
合計		38	44	41	21
種類数		13	20	15	11
メイオベントス湿重量 (g wet/46 cm ²)		0.147		0.123	

d) 2月

		15-Feb-01 (ind./46 cm ²)			
種名	和名	L-1	L-2	L-3	L-4
Eunice sp.		2			
Ophiuremus sp.		6			
Lumbrineris sp.		3		2	3
Maldanidae	タケフシゴカイ科			1	7
Polydora sp.			1	5	9
Prionospio krusadensis	ミツバネスピオ	1	3		
Prionospio seculata	フタエラスピオ	1			4
Muscus senhousia	ホトギスガイ	3			
Aoridae	アオリ科	4	5	9	11
others					
合計		36	27	33	54
種類数		18	14	14	14
メイオベントス湿重量 (g wet/46 cm ²)		0.110		0.062	

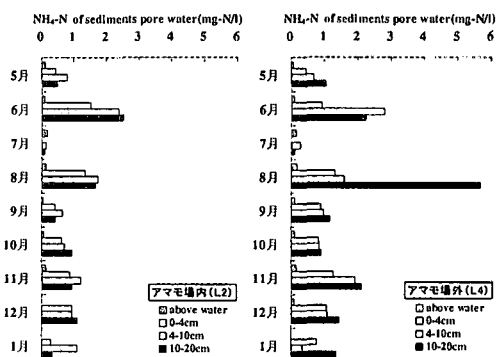


図一七 堆積物表層の強熱減量と付着藻類変化

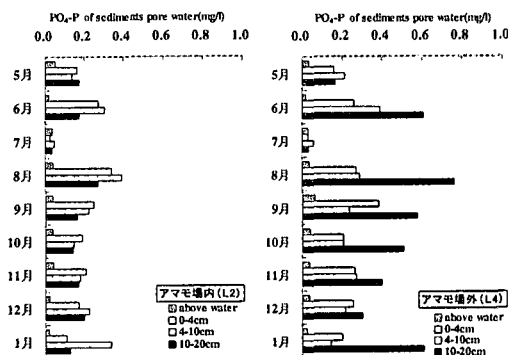
内堆積物の動物環境は活性が高いことが伺える。さらに、同時に測定したマクロベントス湿重量結果をみると、葉条長が低くなる9～12月にアマモ場中の方が高くなり、その傾向は1月まで続いた。それ以外の時期は同じぐらいアマモ場の外の方が多くなる傾向にある。葉条長が短くなることでアマモ場内への有機物供給量（懸濁物質）も多くなり、さらに水温も低くなく、堆積物内における生物活性が高くなることによって、動物の出現増加さらには有機物等の分解も促進されると考えられる。2～3月にはアマモ葉条長も伸びてくる時期であり、堆積物中に蓄えられた無機態物質が徐々にアマモに固定されていることが予測される。

次に堆積物中の強熱減量 (Ig-loss)・付着藻類 (Chl.a) および無機態物質について検討する (図一七)。堆積物中の Ig-loss はアマモ場内・外ともに3～4%で季節的に変動するものの、大きな変化はみられなかった。アマモ場内での懸濁物沈降量の観察から、夏から秋にかけて直上海水から堆積物への有機物供給量が高いものの、Ig-lossには現れていなかった。一方、この時期のマクロベントス湿重量はアマモ場内の方が多く、供給された懸濁物質は速やかにマクロベントスによって分解されたと考えられる。

一方、堆積物乾泥当たりの Chl.a 濃度も9～12月はアマモ場中の方が外より高く、マクロベントスと同様の傾向を見せた。前述した光環境の観測結果から、9～12月はアマモの葉条長が短く、アマモ場の堆積物底面への光到達量も大きいことから、付着藻類の指標である Chl.a 濃度が高いと考えられる。さらに、同時期は海水温も低くなく、堆積物内の生物活性も高いこと、アマモによる



図一八 堆積物間隙水の無機態アンモニア濃度



図一九 堆積物間隙水の無機態リン濃度

流れの抑制もあり、アマモ場外への物質移動が抑えられたことにより、餌の豊富なアマモ場中でマクロベントス量も高くなったと推測される。

最後に図一八、九に堆積物内間隙水中の無機態窒素・リン濃度の鉛直分布季節変化を示す。窒素・リンともに、春先から夏にかけて大きくなる傾向を見せた。アマモ場外の結果は、油壺湾奥で観測された堆積物の結果 (Takayanagi・Yamada, 1999) と同じ傾向であった。一方、アマモ場内の堆積物表層と、アマモ場外表層とは大きな差が見られなかったものの、それ以深ではアマモ場内の方が低くなっていた。一般に、堆積物中の無機態アンモニアは下層方向に増加する傾向をもつが、アマモ場内ではアマモの成長過程において根からの吸収があることが知られており (Frederick・Robert, 2001)、アマモの根がどの深度まで存在するか不確定ではあるが、その影響によってアマモ場内での栄養塩が低くなっていることが考えられる。一方、無機態リンも窒素と同様で、10 cm 以深での差は大きかった。アマモの根からの栄養塩吸収については別途検討中であり、今後の課題としたい。

5. ま と め

アマモ場内・外の物理環境および堆積物生化学環境は、アマモ成長の季節変化と大きく関係していることがわかった。特に、葉条長の長い5~7月、短い9~12月の時期には、懸濁物沈降量・付着藻類量・マクロベントス湿重量に関して、アマモ場内と外で以下のような違いが見られた。

- 1) 5~7月のアマモ葉条長が長い時期は、アマモ場内の光量子束密度は30~100 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) であり、アマモ場外の同水深帯では300~600 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) であった。一方、9~12月の葉条長が短い時期は、アマモ場内・外とともに300~400 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) と同程度であった。
- 2) アマモ場内の堆積物底面で光消散係数を測定した結果、アマモ成長にともなう葉条長の変化により、葉条長の長い5月(平均1.9 (1/m))よりも葉条長の短い8月(平均1.1 (1/m))の方が小さかった。特に、8月はアマモの外の光消散係数とほぼ同様であった。また、アマモ場内の堆積物底面の光量子束密度(月平均値)も8月に年最大値(1138 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)を示すことを実測により明らかにした。
- 3) アマモ場中の懸濁物沈降量は、アマモ場外の地点と比較し、アマモ葉条長が長い時期(5月~7月)には小さく、葉条長が短い時期(9月~12月)には同量またはそれ以上になることがわかった。
- 4) マクロベントス湿重量は、アマモ葉条長が低くなる9~12月にアマモの中の方が高くなる傾向であった。また、アマモ葉条長が長い時期はその周辺で、個体数・種類数ともに多くなる傾向であった。Ig-lossの値はアマモ場内・外で大きな差は見られなかった。

- 5) 9~12月は堆積物乾泥当たりの *Chl.a* 濃度もアマモ場の中の方が外より高く、マクロベントスと同様の傾向を見せた。
- 6) 堆積物内間隙水中の窒素・リンは、春先から夏にかけて高くなる傾向であった。一方、アマモ場内の堆積物表層とアマモ場外のそれには大きな変化がみられなかったものの、それより以深ではアマモ場内の栄養塩が低くなっていた。

謝辞: 本研究を実施するにあたり、東京大学理学部付属三崎臨海実験所の森沢所長をはじめ事務官の方々には、アマモ場生育域の情報に関するご助言をいただきました。また、現地観測では同実験所技官の方々に観測遂行にあたってのご指導をいただきました。以上を記して、ここに謝意を示します。

参 考 文 献

- 青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明(2000): 伊勢湾小鈴谷干潟の水質浄化機能, 水産海洋研究, 64巻, 1号, pp. 1-9.
- 伊豫田紀子・佐々木淳・磯部雅彦(2002): アマモ場における酸素に着目した物質循環過程の定量化, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1166-1170.
- 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・渡辺康恵・菊池弘太郎(1988): アマモ場造成法に関する研究, 総合報告 U14, 電力中央研究所.
- 鈴木輝明・青山裕晃・中尾 徹・今尾和正(2000): マクロベントスによる水質浄化機能を指標とした底質基準試案—三河湾浅海部における事例研究—, 水産海洋研究, 64巻, 2号, pp. 85-93.
- Frederick, T. S. and G. C. Robert (2001): Global Seagrass Research Methods, Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Takayanagi, K. and H. Yamada (1999): Effects of benthic flux on short term variations of nutrients in aburatsubo, Journal of oceanography, Vol. 55, pp. 463-469.
- Zimmerman, R. C. and C. D. Mobley (1996): Radiative transfer within seagrass canopies: impact on carbon budgets and light requirements, Soc. Phot-Optical Instr. Eng., 2963, pp. 331-336.