

地球温暖化対策とその経済的影響

山地 憲治

1. 地球温暖化問題の基本構造

1988年6月のトロント国際会議「変貌する大気」以来、地球温暖化防止に向けた世界的な取り組みが急速に展開してきた。1990年8月には、1年半余りをかけて検討してきたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の中間報告が採択され、数ある地球環境問題の中で最も解決の難しい地球温暖化についても、いよいよ条約締結をめざして対策が本格化し始めた。

地球温暖化問題に関する科学的知見にはまだまだ大きな不確実性がある。地球の温度変化は温室効果だけでは説明できないし、CO₂など温室効果ガスの大気中の濃度変化から地球の温度変化を予測する気候モデルでも雲や海洋の効果には不明な点が多い。CO₂の発生と吸収についても、森林破壊からの放出量はよくわかっていないし、吸収側にはミッシングシンクという大きな謎がある。

しかし、気候変化が明らかに予見できるようになってから対策行動を起こしたのでは遅すぎる。われわれは不確実性の下での意思決定を迫られている。誤った判断による対策の実施が温暖化そのものよりも大きな損失をもたらす恐れもある。また防止的対策だけでなく温暖化する地球に適応するための対策も検討されねばならない。

地球温暖化対策は総合的であると同時に、科学的知見の充実にもなつて段階的に実施できる柔軟性を持つ必要がある。もちろん、森林破壊の防止やエネルギー利用効率の向上、オゾン層を破壊するだけでなく強力な温室効果ガスでもあるフロン全廃など、誰もが基本的に正しいと考える対策は速やかに推進すべきである。世界を見渡せば、現在の技術水準でも、さしたる経済的負担なしにできることは多い。まず合意しやすい対策から始めて、次第により困難な対策に着手するというのが不確実性下の選択の基本である。このような合理的な地球温暖化対策の構築のためには、広範な各種対策技術の開発・

普及と同時に、それを促進する政策手段の社会経済的コストを評価しておくことが重要である。

2. CO₂発生量と経済成長

温室効果の約半分を分担するCO₂の発生の抑制が、地球温暖化対策の中心になる。人為的なCO₂発生のほとんどは石炭など化石燃料の燃焼による。化石燃料は世界のエネルギーの約9割を供給しているので、CO₂の抑制はエネルギー供給を制約し、ひいては世界経済に重大なインパクトを与える恐れがある。

CO₂発生量は、「CO₂/エネルギー」と「エネルギー/GDP」およびGDPの3因子のかけ算で表現できる。GDPは国内総生産で経済活動の水準を表わす。CO₂発生量の増加率は、これら3因子の増加率の和で表わされることになる。CO₂発生量と経済活動を結びつけるこの簡潔でわかりやすい関係性は、IPCCの会合で東京大学の茅陽一教授が最初に紹介した。

「CO₂/エネルギー」はエネルギーの炭素依存度とでもいうべきもので、水力や原子力などの比率が高ければ小さくなる。「エネルギー/GDP」は省エネルギーの最もマクロな指標で、省エネが進めば減少する。これら2因子をより小さくすることができれば、経済活動水準を犠牲にすることなくCO₂の抑制ができる。

図1に示すように、各国のこれら2因子の値は大きく分散している。わが国のように石油危機の時代にこれら2因子を大幅に減少させて対応した国でもさらに改善する余地があるのか、政策手段でさらなる省エネ・燃料転換を誘導すれば、経済成長はどの程度の影響を受けるのか、これらを解析することでCO₂抑制の国民経済的コストを評価できる。

また、世界的にみれば、ソ連・東欧諸国などエネルギー効率の改善の余地の大きさが明白な国も多い。多くの発展途上国ではエネルギー価格の高かった石油危機時代でも経済発展に伴いエネルギー効率は低下した。地球全体として公平で効率的なCO₂削減を追求するためには、これら地域ごとの事情を考慮した対策が必要である。技

やまじ けんじ 財電力中央研究所

〒100 千代田区大手町1-6-1

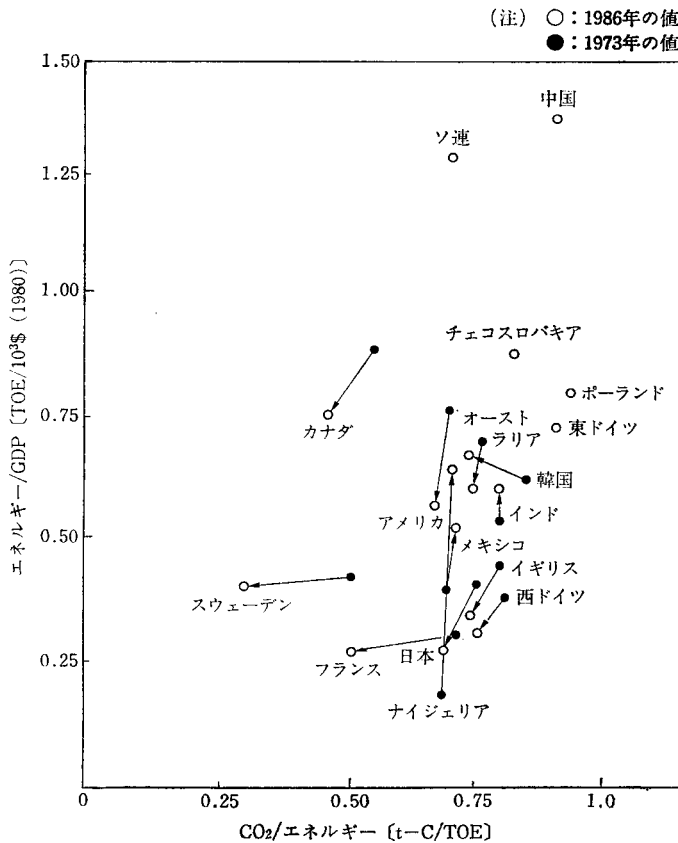


図 1 各国のエネルギーの利用効率と炭素依存度
出所：電中研レビュー，No. 24 (1990)

術移転などの国際連携を活性化させる仕組みを工夫すれば、地球全体としての CO₂ 抑制コストは大幅に低減できる可能性がある。

3. CO₂ 抑制のための経済的手段

CO₂抑制策として検討されている経済メカニズムをシステム構造から見ると、課徴金制度と排出権市場に分類することができる。政策課題を、CO₂発生量を与えられた水準以下に最小コストで抑制する最適化問題として定式化すれば、価格を制御変数として CO₂ 排出総量を調整する課徴金制度と、排出権の配分を制御変数としてコスト総計を調整する排出権市場とは、数学的に双対関係にある。

課徴金制度は CO₂ の排出に対して料金を徴収する制度である。理論的には、CO₂排出 1 単位当りの環境コストを課徴金として設定すれば、市場メカニズムによって地球環境へのコストを考慮した最適資源配分が達成でき

ることになる。以前から米国環境保護局等で検討されている CO₂ 抑制のためのもっともポピュラーな経済メカニズムである。

CO₂排出量を減少させたり、大気中から CO₂ を吸収することに対して補助金を出す制度は、負の課徴金制度と考えることができる。公的機関による低利の融資や加速償却、課税控除などの財政的援助の形態を取ることもある。このような制度はわが国でも省エネルギーの推進方策等において経験がある。課徴金による収入を補助金の財源に充てるという組合せもある。

課徴金制度およびその変形としての補助金制度は、既存の市場に価格シグナルを導入するものであるのに対し、排出権市場は CO₂ 抑制のために新たな市場を創設する。市場が成立するためには希少性を持つ商品が必要である。排出権市場においては、CO₂の排出総量に枠を課すことで CO₂ 排出権という商品を人為的に導入する。

このような人為的な市場創設による環境規制の端緒となったのは、1970年代から米国で導入され始めた煤煙規制であ

る。この例では、オフセット、バブル、バンキング等の概念が導入され、汚染物質排出の総量制約の下で、排出の地点間、時点間および企業間の融通によって目標達成コストの削減が図れる。米国では、フロン生産規制や酸性雨抑制のための大気浄化計画にも、同様の考え方の適用が試みられている。

排出権市場制度のもとでは予め決められた CO₂ 排出総量を適切な基準で各構成員に割り当て、割り当て量を越える CO₂ を排出しているものは自ら努力して CO₂ を削減するかあるいは余裕のあるものから排出権を買わねばならない。この選択と取引によって全体として効率的な排出削減の実現が図れる。

このような CO₂ 抑制のための経済的手段の一般的特長は、市場メカニズムを利用して最小の費用で抑制目標を達成することである。しかし、制度の具体的な詳細によって、実際にはその効果に大きな相違が発生する。

課徴金制度によって、CO₂発生を伴う財の生産は縮小

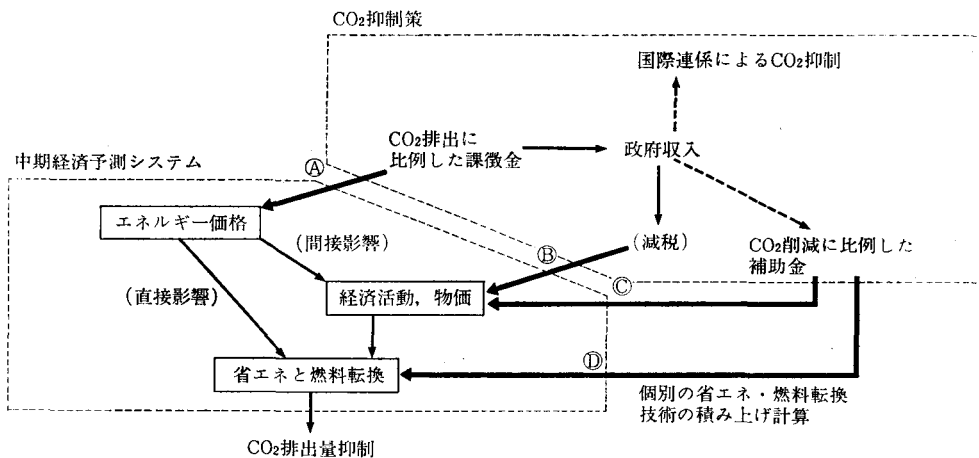


図 2 経済/エネルギー/CO₂分析のためのフレームワーク[3]

し、産業連関を通してその効果は経済全体におよぶ。長期的には、CO₂発生を伴わない技術の開発が促されるとともに、それに成功しない場合には特定産業は市場から消えてしまうこともありうる。しかし、目標とするCO₂抑制を達成するように課徴金の水準を決めるには、市場全体の構造について十分な情報を持っていなければならない。通常情報量は十分でなく、課徴金の水準は試行錯誤で決めざるを得なくなる。現実的には、課徴金収入を特別会計として環境政策のための財源集めの手段とする場合が多いと思われるが、その場合には同じ難問が財源の使い方に転化されることになる。

補助金制度は、CO₂発生が少ない機器や生産方式の選択を誘導できる。価格を上げて市場全体にシグナルを送る課徴金と比べて、個々の技術選択をねらい打ちできるという効率の良さがある。CO₂抑制技術を開発するためのインセンティブとしても効果的であろう。しかし、補助金の対象の選択には技術構造について正確な理解が必要であり、補助の水準の決定については、課徴金制度の場合と同様に試行錯誤が必要になる。また、長期的には当該産業の平均費用を下げることになるので参入企業の増加を招き、逆にCO₂の増加をまねく恐れもある。

これらと比較して、排出権市場制度は少なくとも理論的にはより優れている。森田[2]は、その根拠として次の4点を指摘している。第1に、経済全体の構造に変化があっても排出権市場により自動的に価格調整が行なえる、第2に、目標とする排出総量を直接規定できる、第3に、最初の排出権割当の裁量によって所得配分上の施策を同時に実施できる、そして、第4に、植林を負の

CO₂排出としてカウントするなどの工夫次第で森林保全のインセンティブを与えられる。もちろん、排出権市場にも問題点は多い。排出権の初期割当は結局公平性についての何らかの裁量によって決めるほかなく、合意を得ることがきわめて難しいと予想されるし、特に注目されている国際的排出権市場の場合には監視や制裁措置について有効な手段が見あたらず、市場の成立性そのものが疑問視される。排出権市場の理論的な有効性を確認したうで、同等の効果を発揮できる、環境に配慮した途上国援助など、より現実的な国際的制度を工夫すべきであろう。排出権市場のシミュレーション解析については、山地ほか[4]を参照されたい。

4. CO₂課徴金およびCO₂削減補助金の効果とコスト

わが国における課徴金と補助金の効果とコストについて、電力中央研究所のモデル解析による評価[3]を紹介する。CO₂の排出に税金をかけて抑制しようという試みはオランダ、フィンランド、スウェーデンですでに実行に移されており、わが国でも環境庁を中心にその導入が議論されている。オランダの場合には財源確保、スウェーデンの場合には、エネルギー価格上昇による抑制効果を目的としているようである。電力中央研究所の解析では、課徴金については価格効果のみに着目し、補助金の解析によって所要財源額の評価を行なっている。

4.1 解析のフレームワーク

CO₂課徴金の影響は図2に示されるように、エネルギー価格の上昇による直接的影響と、経済活動や一般物価

の変化を介した間接的影響があり、これらによって CO₂ 排出量が減少する。このとき課税収入を何らかの形で経済に還流することは経済活動を活性化させ CO₂ の増加要因となる。電力中央研究所のシミュレーションでは、税収を還流しない場合（図2中の経路Aのみ）と課税収入を所得減税で相殺する場合（図中の経路A+B）の2ケースについて試算した。課徴金の水準は、1990年に導入を開始し2005年の排出量を1988年レベルに抑制することを目標とした。

CO₂ 補助金の影響経路は図2のCとDで示されている。補助金によって経済性が成立する省エネや燃料転換のための設備投資が行なわれ、CO₂排出量を減少させる（経路D）が、一方で設備投資は直接的には機械工業の、そして産業連関を通じて間接的に素材産業やサービス業の生産水準を押し上げ、CO₂ 排出量を増加する（経路C）。なお今回の試算では補助金の財源は考慮されていない。

エネルギー価格および経済活動、物価を介する効果の分析には、電力中央研究所が開発した中期経済予測シス

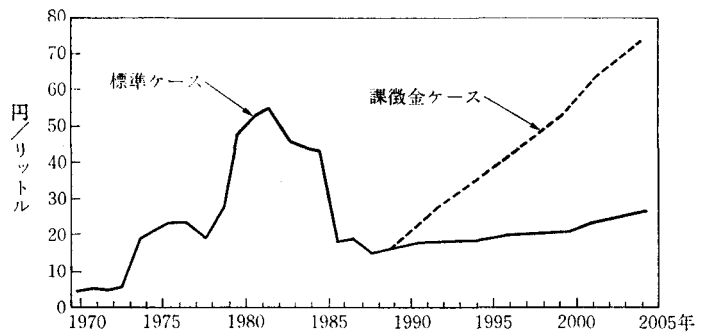


図3 課徴金による原油国内価格（名目）の変化〔3〕

テムを活用する。補助金の直接的効果（図2の経路D）の解析には東京大学工学部で開発されている積み上げ計算法とデータを利用した。補助金の対象としては以下の省エネ技術および燃料転換を考慮し、投資資金の回収年数が2-5年以下になれば新設・更新投資において選択されると仮定して算定した。

- 《産業部門》 既存の省エネ技術(約60種)、ボイラ燃料の転換(石油→LNG)
- 《家庭部門》 家屋の断熱材の普及
- 《発電部門》 火力発電燃料の転換(石炭→LNG)

4.2 CO₂ 課徴金の効果とコスト

シミュレーション実験の結果、2005年のCO₂ 発生量を1988年の水準に抑制するためには、課徴金の水準は1990年に炭素1トンにつき4,000円を導入し、これを2005年まで毎年同額ずつ上昇させればよいことがわかった。図3に示すようにこれは石油の場合、2005年時点での価格を標準予測の場合の約2.5倍に引き上げることになる。

課徴金シミュレーションの主な結果を表1に示す。課徴金によってCO₂ 発生量の安定化を行なうと、税収の還流がない場合には、実質GNPは年率で0.4%、累積で約310兆円減少する。所得減税による税収相殺を行なうと、2005年の名目GNPは約33兆円増加する。2005年の税収は名目で18.7兆円であるから、乗数は1.7~1.8程度となる。これに伴いCO₂ 排出量は累積で4,600万トン、約5%増加するが、実質GNPも累積で80兆円、26%程度回復する。その結果、炭素1トン

表1 課徴金の効果とコスト〔3〕

	税収の還流なし	税収の還流あり
A. 実質GNP(80年価格兆円)		
2005年のみ	-37.7(-6.2%)*2	-30.0(-4.9%)
1990~2005年の累積	-310.6(-4.0%) (年率0.4%減)	-230.6(-3.0%) (年率0.3%減)
B. CO₂削減量(炭素百万トン)		
2005年のみ	104.1(26.6%)	99.8(25.5%)
1990~2005年の累積	985.1(17.1%)	939.0(16.3%)
C. 課税収入(80年価格兆円)*1		
2005年のみ	11.9	12.0
1990~2005年の累積	118.2	119.0
D. CO₂削減量当たりの課税収入(万円/トンC)		
2005年のみ	11.4	12.0
1990~2005年の累積	12.0	12.7
E. CO₂削減量当たりの実質GNP減少(万円/トンC)		
2005年のみ	36.2	30.1
1990~2005年の累積	31.5	24.6

*1 WPIで実質化

*2 ()内は課徴金がない場合に対する割合

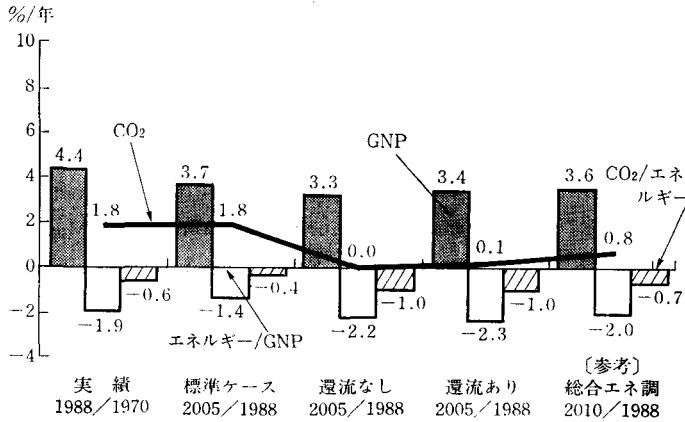


図 4 CO₂/エネルギー/GNP の変化率 [3]

の削減当たりの GNP ロス (累積値) は 30 万円から 25 万円まで減少するが、状況が大きく改善されたとは言えず、課徴金だけで CO₂ を抑制するのは国民経済的損失が大きすぎると結論される。なお、以上の結果を、GNP、エネルギー/GNP、CO₂/エネルギーおよび CO₂ 発生量の 4 つの指標の年変化率として整理すると、図 4 のようになる。

4.3 CO₂ 補助金の効果とコスト

補助金による CO₂ 削減シミュレーションの主な結果を表 2 に示す。特定の費用効果の高い技術の導入を促進する補助金は、一定限度内の削減については、課徴金よりはるかに優れた削減効率を示す。表 2 によれば、炭素 1 トン当たりわずか 2 万円弱の補助金財源で、2005 年の CO₂ 発生量を 3,700 万トン、累積では約 2 億 7000 万トンを削減できる。ただし、補助金の水準をさらに上げても CO₂ の削減量は頭打ちで、補助金額だけが増えていくにとどまる。したがって、補助金だけでは 2005 年における CO₂ 排出量を 1988 年水準まで削減するという目標を達成できない。

補助金による GNP への影響は、補助金は名目ベースで 2.4~2.5 の乗数効果を持つという関係で表わされる。つまり炭素 1 トン当たり 2 万円の場合、2005 年に名目 0.7 兆円の補助金で名目 GNP が 1.8 兆円、0.19% 増加する。しかし、実質 G

NP は物価上昇のための 0.05% 増加にとどまる。このため CO₂ 排出量も 0.06%、24 万トンしか増加しない。経済活動、物価を通じた補助金の間接的効果はごく小さいものと考えられる。

5. おわりに

CO₂ 抑制に関する経済解析研究は急速に充実しつつあるが、課徴金の評価に限定しても、その結果はまだ大きく分散している。たとえば、ジョルゲンソン (Jorgenson) ら [1] は、米国の 2020 年の CO₂ 排出量を 1990 年の水準に安定化するために必要な課徴金の水準は炭素 1

トンあたりわずか 17 ドルで、それによる 2020 年の GNP の減少は 0.5% にとどまるという結果を得ている。もちろん、安定化のために必要な CO₂ 削減量をはじめとして、考察する時間範囲、各国のエネルギー価格や省エネルギー技術水準など解析の前提条件が揃っていないので結果がある程度異なるのは当然である。電力中央研究所の結果は、すでに効率的なエネルギー利用を実現してい

表 2 補助金の効果とコスト [3]

補助金水準 (万円/トン C)	0.5	2	8
A. 実質 GNP (80 年価格兆円)			
2005 年のみ	0.05 (0.01%) ^{*2}	0.33 (0.05%)	1.66 (0.27%)
1989~2005 年の累積	0.50 (0.01%)	3.50 (0.04%)	22.65 (0.28%)
B. CO₂ 削減量 (炭素百万トン)			
2005 年のみ	20.2 (5.1%)	37.0 (9.4%)	46.3 (11.8%)
1989~2005 年の累積	150.9 (2.5%)	267.3 (4.1%)	426.4 (7.0%)
C. 省エネ投資による CO₂ 増加			
2005 年のみ	0.03 (0.01%)	0.24 (0.06%)	1.20 (0.31%)
1989~2005 年の累積	0.33 (0.01%)	2.32 (0.04%)	14.96 (0.24%)
D. 補助金額 (80 年価格兆円)^{*1}			
2005 年のみ	0.09	0.62	3.11
1989~2005 年の累積	0.71	5.02	32.42
E. CO₂ 削減量当たりの補助金額 (万円/トン C)			
2005 年のみ	0.42	1.69	6.89
1989~2005 年の累積	0.47	1.89	7.88

*1 WPI で実質化

*2 () 内は課徴金がない場合に対する割合

るわが国では CO₂ 削減コストが高いと解釈することもできる。しかし、同じ米国についての解析でも相当幅のある結果が報告されており、研究者間の交流と相互批判により、解析方法自体をさらに改善していく必要が認められる。

また、補助金の評価には、技術データの整備をはじめ新技術の選択にかかわる種々の要因や効果や市場浸透速度のモデル化など多くの検討課題が残されており、排出権市場の解析など国際的な CO₂ 抑制方策の解析はまだ端緒についたばかりであるといつてよい。

最後に、地球温暖化対策には経済評価だけでは扱えない要素があることに注意を喚起しておきたい。経済メカニズムによる CO₂ 抑制は、市場という効率的な情報システムを利用する巧みな方策であるが、経済メカニズムだけでは地球温暖化問題は解決できない。経済メカニズムがその効率性を発揮して有効に導ける将来の時間範囲は限られている。より長期的な視点に立った技術開発や啓蒙活動などと組み合わせて、地球環境と共存する文明

への総合戦略の中に位置づける必要がある。

参 考 文 献

- [1] Jorgenson, D. W. and Wilcoxon, P. J.: The Cost of Controlling U. S. Carbon Dioxide Emissions, Proceedings of the Workshop on Economic / Energy / Environmental Modeling for Climate Policy Analysis, Washington D. C., October, 1990.
- [2] 森田：地球気候安定化と経済的手段，環境研究，77(1990)，92-102
- [3] 永田ほか：CO₂抑制策の日本経済への影響，エネルギー・資源学会第7回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，3-4，1991
- [4] 山地ほか：市場機構を用いたグローバル CO₂ 排出抑制方策の解析，エネルギー・資源学会第7回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，1-3，1991

最新刊

ファイナンスのための確率過程

森村英典・木島正明著

A5判・230頁・定価3,000円(本体2,913円・税87円)〒260円

近年、ファイナンスにおける確率過程論の必要性はますます高まってきている。株価の変動がある確率過程に従っていると、株式への投資や株価についての数学モデルを作りそれを解析する研究が、アメリカを中心に精力的になされている。確率過程論に立脚した理論によって、次々に新商品が開発されている。

本書は、財務理論への応用を念頭において確率過程を詳細に解説した教科書である。

〔主要目次〕

- 第1章 株式投資の数学的モデル化への枠組み 第2章 初等的なモデルによるアプローチ(ランダムウォークによる株価過程の記述/コールオプションの価格付け他) 第3章 離散時点のマルコフ連鎖(マルコフ性/推移確率/状態確率とその極限/確率的に単調なマルコフ連鎖他)
- 第4章 連続時点のマルコフ連鎖(ポアソン過程/連続時点のマルコフ性/無限小生成作用素とコルモゴロフの微分方程式他) 第5章 マルチンゲール(条件付き期待値/マルチンゲールの定義/マルチンゲールの基本的な性質/条件付き請求権の価格付けへの応用/任意抽出定理)
- 第6章 ブラウン運動過程と拡散過程(ブラウン運動過程/鏡像原理/ブラウン運動過程とマルチンゲール/拡散過程) 第7章 確率微分方程式(確率微分方程式/確率積分/確率微分方程式の解の存在と伊藤の変換公式/ファイナンスにおける応用)
- 付録A. 確率空間と確率変数(条件付き確率と事像の独立他) B. スティルチェス積分(スティルチェス積分に関する重要な定理他) C. 正規分布 D. ヒルベルト空間

 日科技連出版社

〒151 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-4-2 振替 東京7-7309
電話03(5379)1238 FAX03(3356)3419(図書目録送呈)