A-029

人的要素のスパム送信サーバ行動変容への影響のメカニズムデザイン理論に基づく分析

Analysis of Impacts of Human Factors on the Spam Server Behavioral Changes based on the Mechanism Design Theory

太田 大智 † 中平 勝子 † 北島 宗雄 †
Daichi Ohta Katsuko T. Nakahira Muneo Kitajima

1 はじめに

インターネットにおける迷惑行為の一つにスパム送信がある．この現象は，過発展したネットワーク基盤，過成長したコンピュータ／ソフトウェアによって人が操作できる機能が増えたなかで，人が意識／無意識に行う行為の結果がスパム送信行為として生じているとして捉えることができる．本稿では，このような人の行為にモラリティ（道徳性）が大きく作用していると考え，スパム送信量とモラリティの関係をメカニズムデザイン理論を適用して分析する．

モラリティは，サーバ管理者（技術的側面を扱う）の管理運用綱領に対するモラル，サービス利用者のインターネット利用に対するモラルとして捉える．また，サーバ管理者のモラルがサービス利用者のモラルに影響を及ぼし，逆に，サービス利用者のモラルがサーバ管理者のモラルに影響を及ぼすものとして捉える．このように捉えることは，モラリティに関して，サーバ管理者とサービス利用者の間に相互作用が存在することを仮定することと等価である．現象として観測されるスパム送信は，その結果として観測されるものであり，スパム送信を生起させる仕組みを想定することにより，スパム送信量の変動に対する理解を深めることが可能となる．本稿では，人的要素の一つである“モラリティ”を，サーバ管理者，並びに，インターネットサービスユーザの双方が持つべきものとして想定し，それらが不十分になることによってもたらされる“スパムメール送信”の量の増大というサーバの行動変容を，それを特徴付けるダイナミクスの視点から分析する．

2 メール送信状態

本稿では，単一のメールサーバを対象として，メールサーバが外部に対して行うメール送信状態の記述を行い，次に，送信状態の分類を行う．

2.1 メール送信状態の記述

メールサーバから送信されるメールには，ハムメールとスパムメールが混在する．ある時刻 t_i にサーバから実際に送信されるメール送信数 $M_{send}(t_i)$ は，メールサーバに対してリクエストのあったメール送信数 $M_{req}(t_i)$ から，サーバが送信を遮断したメールを減じたものになっている．

$M_{req}(t_i)$, $M_{send}(t_i)$ は，いずれも，ハムメールとスパムメールを含んでいる可能性がある．$M_{req}(t_i)$ に対するハムメールおよびスパムメールの割合を，それぞれ，

$$\alpha(t_i),\ \beta(t_i)\ \ ;\ \ \alpha(t_i)+\beta(t_i)=1,$$

メールサーバにおいて，アドミニストレータによって外部送信不可と判定されたハムメールおよびスパムメールの割合を，それぞれ，

$$\alpha'(t_i),\ \beta'(t_i)\ \ ;\ \ \alpha'(t_i)\le\alpha(t_i),\ \beta'(t_i)\le\beta(t_i)$$

としたとき，図 1 は，$M_{req}(t_i)$, $M_{send}(t_i)$, $\alpha(t_i)$, $\beta(t_i)$, $\alpha'(t_i)$, $\beta'(t_i)$ の関係を示している．

図 2 は，本稿で示すメール流出量とスパム含有率の間に見られる典型的な関係を表している．ここで，メール流出量は，クライアントから寄せられたメール送信要求 $M_{req}(t_i)$ に対して実際に送信されたメールの割合 $M_{send}(t_i)$ である．図 2 の横軸“スパム含有率”は，$\beta(t_i)-\beta'(t_i)$ である．本稿では，アドミニストレータのモラリティ，サービス利用者のモラリティ，それらの相互作用の仕方の違いによって，メール流出量とスパム含有率に異なった関係性が認められることが導き出されることを示す．

2.2 メール送信状態の分類

メール送信状態の記述について説明する．本稿では，簡便のため，$M_{send}(t_i)$ に含まれるハムメール，スパムメールの関係を次の 3 通りで考える．

type 1（スパムメール完全遮断）： もっとも理想的な状態である．この状態のとき，メールサーバから外部へ向けて発信されるメールは全てハムメールである．つまり，スパムメールの送信は全てサーバで遮断される．ハムメールの送信要求は大きく変動するとは考え難いので，$M_{req}(t_i)$ が増加しても $\alpha(t_i)\times M_{req}(t_i)$ は大きくは変動しない．その結果，$\alpha(t_i)$ は減少する．スパムが全て遮断されるため $M_{send}(t_i)$ は $\beta(t_i)$ の増加とともに減少する．仮に $M_{req}(t_i)$ が全てスパムメールとなってしまった場合には $M_{send}(t_i)=0$ となる．

type 2（スパムメール不完全遮断）： $M_{req}(t_i)$ にある一定量までのスパムが混ざっていた場合にはスパムは全て遮断されるが，臨界点 A を超えてスパムが混ざると，そのサーバはスパムを遮断することができず，$M_{send}(t_i)$ に突如大量のスパムが混ざる状態である．この場合，スパム含有率 ∼0 付近での $M_{send}(t_i)$ は，ほぼ全てハム送信であるが，スパム含有率 ∼1 付近での $M_{send}(t_i)$ は，ほぼ全てスパム送信となる．

† 長岡技術科学大学

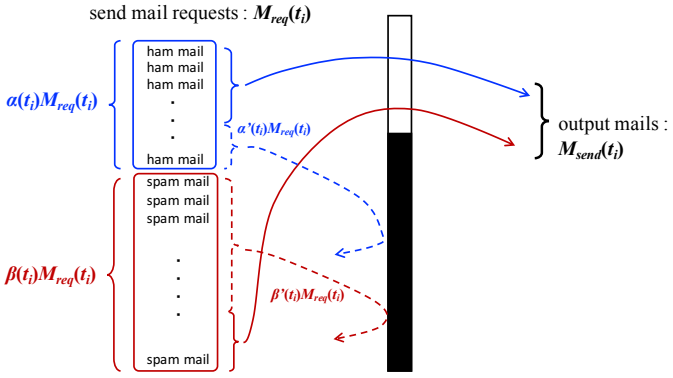

図 1　本稿で想定する $M_{req}(t_i)$，$M_{send}(t_i)$ の関係.

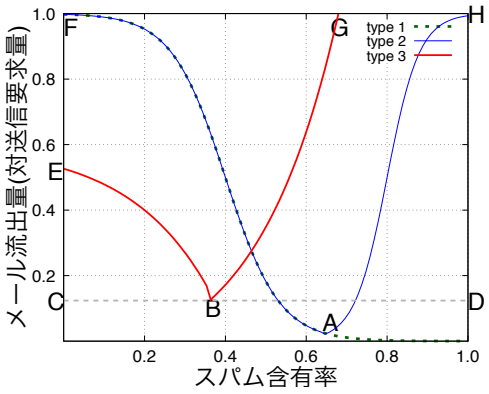

図 2　典型的なメール送信活性度とスパム含有率の関係.

type 3（不完全メール遮断）： $M_{req}(t_i)$ に臨界点 B までスパムが混ざっていた場合，メールサーバから外部へ向けて発信されるメールは厳しくチェックされ，ハムメールであってもスパムと判定され $(\alpha'(t_i) > 0)$，外部へ送信されないこともある．しかし，$M_{req}(t_i)$ に臨界点 B を超えてスパムが含有されるとスパムをチェックしきれず，突如大量のスパム送信が外部に対してなされてしまう．さらに状態が悪くなると，サーバ自体がスパムを増殖させ，ユーザが送信した以上のスパムを外部へ送信してしまうこともある．

図中の臨界点 A または B は，メールサーバ外部へ向けて最低限発信されるメール量を示している．メールサーバにおいてスパム送信を防ぐ目的で通信チェックが行われる場合，通信チェック機能が完璧に機能していれば，

$$\alpha'(t_i) = 0, \tag{1}$$
$$\beta'(t_i) \sim \beta(t_i) \tag{2}$$

となるはずである．しかし，実際にはそうはいかず，$\alpha'(t_i)$ が値を持つ，$\beta(t_i) - \beta'(t_i)$ が値を持つ，という状態が生じうる．これは，通信チェック機能に限界があるために発生する事態であり，臨界点 A，B はそれぞれメールサーバの管理限界を示していると言える．

以上のことを合わせて考えると，Nakahira ら [2] が示した，メールサーバの 3 状態 (secure underlying, developing, critical) は，図 2 において

- secure underlying：図 2 中 $(F - A)$ の区間，もしくは $(E - B)$ の区間.
- developing：図 2 中 A または B のあたり
- critical：図 2 中 $(A - H)$ または $(B - G)$ の区間

に現れることになる．

拡張的に，注目する地域や IP 群に存在するすべてのメールサーバに対して図 2 のようなメール送信状態図を作成することが可能となり，各サーバの特徴を線形/非線形的に重ね合わせることで，地域や IP 群から送信されるメールのハム/スパム特性を考えることが可能となる．

3　メカニズムデザイン理論

3.1　メール送信現象への適用

ある社会状態の規範的な望ましさを評価する際に，その社会を構成する人々の個人的状態を情報基礎とする．人々の財への選好に基づく概念である効率性や公平性はその典型例であり，こうした立場を個人主義的であるという．個人主義的な社会的目標を実現するためには，個人の意志や選好に関する情報を何らかの方法で集めるか，あるいは集めなくともその目標が自動的に達成される何らかの制度を設計する必要がある．メカニズムデザイン理論は，こうした問題意識に立ち，社会的目標を遂行する制度（メカニズム）の設計（デザイン）を分析の対象とする学問分野である [1].

本稿では，“メール資源はハムメールのみで構成される” 状態を規範とし，その望ましさを評価する際に，メール資源を利用する者 (ユーザ)，メール資源の利活用制度が，主としてメールサーバの管理運用者 (アドミニストレータ) によってコントロールされる状態を分析する．

ユーザの 3 状態： 状態を単純化するために，ユーザの状態として，次の三つの状態を想定する：

(1) ハムのみを送信するユーザ,
(2) スパムのみを送信するユーザ,
(3) ハム送信に混ざってスパム送信を行うユーザ.

状態 (1), (2) は，意識的にメール送信を行っていて，送信されるメールは意識的に送ったメールのみとなっている状態である．

一方，ユーザはメール送信行為をはじめとするインターネットを利用するプロセスにおいて，自身のメール送信ツールであるコンピュータや MUA を健全に保つ努力を怠った結果，コンピュータや MUA からユーザが知らない間にスパムが発信されてしまうことがある．状態 (3) がそれにあたり，ユーザはハム送信は意識的に行っているが，同時にスパムメール送信行為を無意識的に行ってしまっている．

アドミニストレータの 3 状態：アドミニストレータについても同様の想定が可能で，アドミニストレータの状態として，次の三つの状態を想定する：

(4) 全送信メールに対して意識的にスパムをチェックし，完全にハム送信のみを行う,
(5) 全送信メールに対するチェックを意識的に怠り，ハム送信に混ざってスパム送信を行う,
(6) 意識してスパムチェックを行うが，なんらかの不注意の結果，無意識的にスパム送信を行う.

以上を踏まえると，現実世界では，$\alpha(t_i)$, $\beta(t_i)$ はユーザのメール送信活動に伴って値が定まり，$\alpha'(t_i)$, $\beta'(t_i)$ はアドミニストレータのサーバ管理活動に伴って値が定まると想定することができる．以下の節で，ユーザとアドミニストレータの活動を，記述する．

3.2 ユーザによる $M_{req}(t_i)$ 生成

あるユーザ u_k ($k = 1, \cdots, N; N$ はユーザの総数) があるコンピュータ p_m ($m = 1, \cdots, N_{u_k}; N_{u_k}$はユーザ u_kの所有する PC の総数) を用いて，メールサーバに対して送信要求を行うとする．

ユーザ u_k が時刻 t_i に送信要求するメールは,

(1) 意識的なハムメール $h(t_i,\ u_k)$
(2) 意識的なスパムメール $s_c(t_i,\ u_k)$
(3) 無意識的なスパムメール $s_{nc}(t_i,\ u_k)$

のいずれかである．意識的なスパムメール (2) は，金銭を稼ぐなど明確な意思を持って送信するスパムメールである．無意識的なスパムメール (3) は，本人はハムメールしか送信していないつもりだが，p_m に設定されたアカウントの乗っ取りや p_m そのものがボットなどに感染した結果送信される迷惑メールなどを想定する．

全メール送信要求量に対してハムメール $h(t_i,\ u_k)$ が占める割合は,

$$\alpha(t_i, u_k) \sim \sum_{m=1}^{N_{u_k}} \alpha(h(t_i,\ u_k), p_m(t_i)) \tag{3}$$

と表記できる.

一方，全メール送信要求量に対するスパムメールが占める割合は，$s_c(t_i,\ u_k)$ と $s_{nc}(t_i,\ u_k)$ の双方が寄与するため,

$$\beta(t_i) \sim \sum_{m=1}^{N_{u_k}} \beta(s_c(t_i,\ u_k), s_{nc}(t_i,\ u_k), p_m(t_i)) \tag{4}$$

と表記できる．u_k がある時刻でメールサーバに対して行う送信要求量を $M_{req}(t_i, u_k)$ として，単一のメールサーバに対して行われる $M_{req}(t_i)$ は,

$$M_{req}(t_i) = \sum_{k=1}^{N} (\alpha(t_i, u_k) M_{req}(t_i, u_k) + \beta(t_i, u_k) M_{req}(t_i, u_k)) \tag{5}$$

となる．基本的に，$M_{req}(t_i)$ はユーザの行動を線形結合することで取得可能である.

3.3 アドミニストレータによる $M_{send}(t_i)$ 生成

他方，アドミニストレータが $M_{req}(t_i)$ に対して送信管理を行った結果，実際に外部へメールを送信する量 $M_{send}(t_i)$ は，もう少し状況が複雑である．アドミニストレータのサーバ管理も，意識的な管理と無意識的な管理に分けられるが，その内訳はより複雑である.

送信要求のあったハムメールに対しては,

- 意識的な管理
  - ハムメールを円滑に外部へ出力,
  - ハムメールを意識的に出力遮断,
  - スパムメールを意識的に出力遮断,
  - スパムメールを意識的に出力
- 無意識的な管理
  - スパムメールを出力遮断したつもりがハムメールまで出力遮断される,
  - ハムメールを出力したつもりが，スパムメールまで出力してしまう

など，アドミニストレータが持つスキルやモラルによって様々なメール出力/出力遮断が生じうる．また，様々な出力/遮断手段に対して，アドミニストレータが持つスキルやモラルに由来する優先順位 (重み) によっても適用されるメール出力/出力遮断状態は異なる.

こうした複雑な状態を記述するにあたり，あるアドミニストレータ $a_l(l = 1, \cdots, L$ ； L はアドミニストレータの総数) が行うハム/スパムメールに対する出力遮断係数 $\alpha'(t_i, a_l(t_i))$, $\beta'(t_i, a_l(t_i))$ は，意識的行動規範群,

$$\boldsymbol{n}_{con,p}(t_i)(p = 1, \cdots, N_{con}\ ;\ N_{con}\text{は意識的行動規範の総数})$$

および，無意識的行動規範群,

$$\boldsymbol{n}_{uc,q}(t_i)(q = 1, \cdots, N_{uc}\ ;\ N_{uc}\text{は無意識的行動規範の総数})$$

が，アドミニストレータ a_l によって選択され順次適用された結果として値が定まる．$\alpha'(t_i, a_l(t_i))$ は，ハムメールの遮断であり，意識的・無意識的に生じ得る．一方，$\beta'(t_i, a_l(t_i))$ はスパ

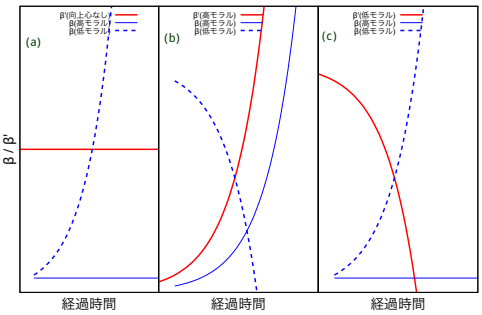

図 3　$\beta(t)$, $\beta'(t)$ の関係．(a)：$\beta'(t)$ が一定 (向上心なし) の場合，(b)：$\beta'(t)$ が高モラルの場合，(c)：$\beta'(t)$ が低モラルの場合．

ムメールの遮断であり，すべて意識的な遮断である．以上は，次のように形式的に表現できる：

$$\alpha'(t_i, a_l(t_i)) = \prod_{q\in\{Q\}} \prod_{p\in\{P\}} \boldsymbol{n}_{uc,q}(t_i)\boldsymbol{n}_{con,p}(t_i) \quad (6)$$

$$\beta'(t_i, a_l(t_i)) = \prod_{p\in\{P\}} \boldsymbol{n}_{con,p}(t_i) \quad (7)$$

$P, Q =$ a_lが t_iに選択した意識的/無意識的行動規範の集合

実際のメールサーバ管理の場合，小規模なサーバであれば単一のアドミニストレータが管理運用を行うことが多いため，人の依存性を考慮するのはそれほど難しくない．大規模なサーバの場合，人が交代でメールサーバ管理運用を行う体制であることが多い．その場合には，$\alpha'(t_i)$, $\beta'(t_i)$ の記述は，時間ごとに $a_l(t_i)$ を入れ替える形で接続することで対応可能である．

従って，ある時刻における $M_{req}(t_i)$ に対して実際に外部出力される $M_{send}(t_i)$ は，(5) 式の 1 項目，2 項目にそれぞれ $\alpha'(t_i)$, $\beta'(t_i)$ を乗じる形で次のように表現できる：

$$\text{ハムメール流出量} = \alpha'(t_i)\sum_{k=1}^{N}(\alpha(t_i,u_k)M_{req}(t_i,u_k)) \quad (8)$$

$$\text{スパムメール流出量} = \beta'(t_i)\sum_{k=1}^{N}(\beta(t_i,u_k)M_{req}(t_i,u_k)) \quad (9)$$

3.4　スパム送信行動変容

以上のように，ユーザ，アドミニストレータのモラルに由来するスパム送信行動を記述したが，サーバから見たスパム送信行動変容は，ユーザ由来，アドミニストレータ由来のいづれがより強く反映されるのかを考察することができる．

図 3 に，$\beta(t)$, $\beta'(t)$ をいくつかのケースについてお互いの変化の一例を示している．ここで，$\beta(t)$ は，β' がメール送信サービスを提供した後に発生するので，若干のタイムラグをもつ．

$\beta'(t)$ が一定 (向上心なし) の場合：図中 (a) は，アドミニストレータに向上心がないため，$\beta'(t)$ はどれだけ時間が経過しても変化しない場合の $\beta(t)$ を，高モラル，低モラルの場合について模式的に示している．ユーザが高モラルであった場合，メールサーバの管理状態によらず偶発的に生じるスパム送信以外のリクエストは発生しないため，$\beta(t)$ は低値を示す．しかし，ユーザが低モラルであった場合，アドミニストレータのスパム遮断技術を超えたスパム送信要求を行う，あるいは，ユーザが爆発的に増加したことにより過剰なスパム送信要求が発生した場合，アドミニストレータのスパム遮断能力を超えるという事態が生じ得る．そうなると $\beta(t)$ の値はある時点から爆発的に増え，メールサーバはスパムを多く流出させることになる．

$\beta'(t)$ が高モラルの場合：図中 (b) は，アドミニストレータに強い向上心がある (高モラル) 場合について模式的に示している．もともと低モラルなユーザが存在して (破線)，多くのスパム送信要求を行い，それが流出していたとしても，アドミニストレータの向上心のため，やがて，$\beta'(t) > \beta(t)$，すなわち，スパム送信要求よりスパム遮断の方が強く効く状態に遷移する．そうすると，低モラルなユーザが存在してもスパム送信をどこかで諦めざるを得なくなり，総じてスパム流出は減少する．あるいは，初期に高モラルなユーザが大半を占める場合，たとえ途中で高モラルなユーザが低モラルユーザに遷移して多くのスパム送信要求を行う，あるいは高モラルではあるが無意識的なスパム送信要求を大量に行ったとしても，アドミニストレータのスパム遮断能力が常に高い状態であるため，$\beta'(t) > \beta(t)$ の状態が常に保たれ，結果としてスパム流出は最低限に抑えられることになる．

$\beta'(t)$ が低モラルの場合：図中 (c) はなんらかの理由でアドミニストレータのモラルが徐々に低くなる場合について模式的に示している．高モラルなユーザの場合は (a) に準じるが，低モラルなユーザの場合，はじめはアドミニストレータの様子を伺うため遠慮がちにスパム送信要求を行い，$\beta'(t) > \beta$ の状態が保たれているが，ある時点で $\beta'(t) < \beta(t)$ の状態に急変する．そうすると，(a) の場合よりも急激にスパム流出量が増える．

このように考えると，ユーザのモラル以上にアドミニストレータのモラルを保つことが重要であると推測される．このことは，(5) 式に現れるユーザのスパム送信要求が線形関係であることと (6), (7) 式に現れるアドミニストレータのスパム遮断状態が非線形で表される可能性が高いこととも整合している．

4　まとめ

本稿では，人的要素の一つである，ユーザ · アドミニストレータが持つ “モラリティ”のダイナミクスをメカニズムデザインの視点で記述し，その変化とメールサーバのメール送信行動変容を定性的に分析した．今後，シミュレーションなどを通して複数サーバや “モラリティ”の地域性を考慮した分析を行うことで，インターネット空間で発生するスパム送信行為に対する理解を深めていく．

参考文献

[1] 坂井豊貴，藤中祐二，若山琢磨：メカニズムデザイン–資源配分制度の設計とインセンティブ，ミネルヴァ書房，2008.

[2] Katusko T, Kakeru Yamaguchi, and Muneo Kitajima：Ecology of Spam Server Under Resilience Force in the e-Network, The Seventh Internatioal Conference on Advanced Cognitive Technologie and Applications, 169-174,2015.