【土木計画学研究・講演集　No.23(2)　2000年11月】

道路交通安全対策の便益計測モデルの開発*

The Benefit Measuring Model of Transport Safety Policies

高木朗義**，武藤慎一***
By Akiyoshi TAKAGI and Shinichi MUTO

1．はじめに

わが国における自動車交通事故は非常に深刻な状況にある．年間の事故死者は一万人に近く，負傷者は十万人にものぼる状況は異常と言わざるを得えない．しかしながら，現在は，交通安全対策より交通渋滞対策が優先的に実施され，予算的にも前者は後者に遠く及ばない水準となっている．その原因の１つとして，交通事故による社会的損失が実際にはどれくらいの大きさなのかが不明であることや，交通安全対策の便益計測手法が確立していないことが考えられる．

そこで本研究では，交通事故が不確実な現象であることを踏まえた上で，一般均衡理論の枠組みを用い，交通安全対策の便益計測モデルの開発を行う．具体的には，交通事故に伴う損失の経済学的評価を行い，その軽減分として交通安全対策の便益を捉えるものである．この計測モデルを用いてわが国全体における交通事故による社会的損失を実際に計測すれば，交通安全対策の重要性がより明らかになるであろうし，また，交通渋滞対策との有効性の比較検討が容易になり，様々な交通渋滞対策と交通安全対策の優先順位を決定することが可能になると考えられる．

2．関連する既往研究

一般均衡理論に依拠した交通安全対策の便益計測モデルは森杉・上田 [1]によって開発されている．ここでは，道路ネットワークを組み込んで交通事故の発生場所が事前に不明であることを捉えるとともに，保険制度を組み入れているなど，交通安全対策の評価に必要な要素が概ね含まれている．また，対策による便益帰着分析を行い，社会的純便益の定義を導出しており，理論的なモデルとしての完成度は高い．一方，実証的には，交通安全研究プロジェクト [2]が，1991年を対象として交通事故の社会的損失を計測している例がある．そこでは，人的損害，物的損害及びその他に区分して表１のように計上している．また，定量的な算出は難しいものの社会的損失を伴っている項目として，表２のような項目を挙げている．

表１　交通事故による社会的損失額

	項目	金額(億円)	割合
人的損害	医療費	3,426	6.8%
	休業損害費	3,181	6.3%
	慰謝料	2,369	4.7%
	死亡による損害	4,772	9.4%
	後遺障害保障費	2,534	5.0%
	小　計	16,282	32.3%
物的損害		13,983	27.8%
その他	救急搬送費	378	
	警察事故処理費	540	
	訴訟費用・裁判所体制	401	
	保険運営費	15,466	30.7%
	被害者相談施設費	95	
	救急医療施設整備費	30	
	渋滞による損失	3,149	6.2%
	小　計	20,059	39.9%
合　計		50,324	100%

表２　交通事故による社会的損失の未計測項目

国全体としての目に見えない損失	労働力の損失
	精神的・時間的な損失
社会的体制費用の損失	消防・救急体制費用の損失
	交通警察の費用
	道路管理者の費用
	事故車等の処理費用
事故防止体制の損失	政府や関係団体等の交通安全対策費
	企業・団体等の交通安全対策上の損失
	交通安全のための施設費用
	各所の調査・研究費

3．モデルの構築

本研究で構築するモデルは，森杉・上田 [1]のモデルをベースとして，それに交通安全研究プロジェクト [2]の実証分析結果を活かせる，より現実に近い形にしたモデルを構築することを目指す．

本モデルの特徴は以下のとおりである．

① 交通事故が不確実な現象であることを捉える．

② 道路ネットワークと完全競争下における保険システムを取り扱う．

③ 交通事故は自然災害と異なり，加害者と被害者が存在する．その間には賠償関係があり，自動車保険も基本的に賠償保険であることから，家計を加害者と被害者の２タイプに区分する．

④ 事故による肉体的・精神的苦痛や，それに伴う慰謝料について明示的に取り扱う．

⑤ 交通事故の当事者（家計のみ）は事故処理等のように実質的に時間を喪失するばかりでなく，事故によるショックから何もできなくなるなど時間を喪失すると考えられるため，事故による直接的な時間喪失を導入する．

⑥ 合成財企業も交通ネットワークを利用するとともに，交通安全対策を実施し，交通事故の被害を受けるとする．

⑦ 政府を道路管理者と交通安全対策を行う交通管理者の２つに区分する．

* キーワード：交通安全，整備効果計測法
**正員　博(工)　岐阜大学講師　工学部土木工学科
(岐阜市柳戸 1-1 TEL:058-293-2445,FAX:058-230-1248)
***正員　博(工)　岐阜大学助手　工学部土木工学科

(1) 家計１(加害者)の行動モデル

家計１(加害者)は，期待効用最大化行動をとるものとして以下のように定式化する．

$$V_h = \max \sum_{s \in S} \phi_{hs} \{u_h(z_{hs}) + v_h(m_{hs}) + Q_h(n_{hs})\} + W_h(x_h) \quad (1a)$$

$$\text{s.t.}\ z_{hs} + \sum_{i \in \mathbf{I}} \bar{p}_i x_{hi} + \sum_{s' \in \mathbf{S}} f_h(a_{hs'}, \kappa_{hs'}) \le \omega_h + wl_{hs} - g_{hs} + a_{hs} - \tau_h \quad \text{for each } s \in \mathbf{S} \quad (1b)$$

$$\sum_{i \in I} \bar{t}_i x_{hi} + l_{hs} + n_{hs} + T_{hs} \le \Omega_h \quad \text{for each } s \in \mathbf{S} \quad (1c)$$

$$\phi_{hs} = \sum_{i \in \mathbf{I}} \phi_{his} x_{hi} \Big/ \sum_{i \in \mathbf{I}} x_{hi} \quad \text{for each } s \in \mathbf{S} \quad (1d)$$

ここで，$h \in \mathbf{H} = \{1, \cdots, H\}$：家計１(加害者)を表す添字，$i \in \mathbf{I} = \{1, \cdots, I\}$：交通サービス(経路)を表す添字，$s \in \mathbf{S} = \{1, \cdots, S\}$：交通事故の状態(規模，形態等)を表す添字，$\phi_{hi} = (\phi_{his}) \in \mathbf{R}_+^S$，$s \in \mathbf{S}$：経路$i$において交通事故に遭遇する確率，$\phi_h = (\phi_{hs}) \in \mathbf{R}_+^{IS}$，$i \in \mathbf{I}$：交通事故に遭遇する確率，$\phi_{hs} \in \mathbf{R}_+$：交通事故状態$s$に遭遇する確率，$q_{is} = p_{is} + wt_{is}$：経路$i$において交通事故状態$s$に遭遇した場合の一般化交通費用，$\bar{q}_i = \sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{his} q_{is}$：一般化交通費用の期待値，$\bar{p}_i = \sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{his} p_{is}$：現金支払い費用の期待値，$\bar{t}_i = \sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{his} t_{is}$：走行時間の期待値，$x_h = (x_{hi}) \in \mathbf{R}_+^I$，$i \in \mathbf{I}$：家計の交通サービス需要量，$z_{hs}$：合成財消費量，$f_h(a_{hs}, \kappa_{hs})$：保険料，$\kappa_{hs}$：保険会社の技術力，$\omega_h$：合成財企業からの配当所得，$l_{hs}$：労働供給量(時間)，$w$：賃金率，$T_{hs}$：交通事故に関連した喪失時間，$g_{hs}$：賠償金，$a_{hs}$：保険金，$\tau_h$：一括固定税，$n_{hs}$：余暇時間，$\Omega_h$：総利用可能時間，$V_h$：家計の期待効用水準，$u_h(z_{hs})$：合成財消費による効用，$v_h(m_{hs})$：肉体的・精神的苦痛による効用，$m_{hs}$：肉体的・精神的苦痛，$W_h(x_h)$：交通サービス消費による効用，$Q_h(n_{hs})$：余暇時間消費による効用．

交通事故及び交通安全対策による影響を見るために，家計１(加害者)の期待効用水準の全微分形を導出すると，以下のようになる．

$$\begin{aligned} dV_h = & \sum_{s \in \mathbf{S}} \left[\{u_h(z_{hs}) + v_h(m_{hs}) + Q_h(n_{hs})\} d\phi_{hs} + \phi_{hs} \frac{\partial v_h(m_{hs})}{\partial m_{hs}} dm_{hs} \right] \\ & - \left(\sum_{s \in \mathbf{S}} \lambda_{hs} \right) \left\{ \sum_{i \in \mathbf{I}} x_{hi} d\bar{q}_i + \sum_{s' \in \mathbf{S}} \frac{\partial f_{hs'}(a_{hs'}, \kappa_{hs'})}{\partial \kappa_{hs'}} d\kappa_{hs'} + d\tau_h - \Omega_h dw - d\omega_h \right\} \\ & - \sum_{s \in \mathbf{S}} \lambda_{hs} \{ dg_{hs} + (n_{hs} + T_{hs}) dw + w dT_{hs} \} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで，λ_{hs}：式(1)を解く際に用いたラグランジュ乗数．

(2) 家計２(被害者)の行動モデル

交通事故当事者としての被害者だけでなく，事故に伴う渋滞の影響を受ける者も含めて家計２(被害者)とし，以下のように定式化する．

$$V_k = \max \sum_{s \in S} \phi_{hs} \{u_k(z_{ks}) + v_k(m_{ks}) + Q_k(n_{ks})\} + W_k(x_k) \quad (3a)$$

$$\text{s.t.}\ z_{ks} + \sum_{i \in \mathbf{I}} \bar{p}_i x_{ki} + r_{ks} \le \omega_k + wl_{ks} + g_{ks} - \tau_k \quad \text{for each } s \in \mathbf{S} \quad (3b)$$

$$\sum_{i \in I} \bar{t}_i x_{ki} + l_{ks} + n_{ks} + T_{ks} \le \Omega_k \quad \text{for each } s \in \mathbf{S} \quad (3c)$$

$$x_{ki} \ge 0 \quad \text{for each } i \in \mathbf{I} \quad (3d)$$

$$z_{ks} \ge 0,\ n_{ks} \ge 0 \quad \text{for each } s \in \mathbf{S} \quad (3e)$$

ここで，$k \in \mathbf{K} = \{1, \cdots, K\}$：家計２(被害者)を表す添字，$g_{ks}$：家計１(加害者)から支払われる補償金，$r_{ks}$：金銭的損害，これら以外の変数は，家計１の変数において添字hをkに変更したものと同じ意味を表す．

交通事故及び交通安全対策による影響を見るために，家計２(被害者)の期待効用水準の全微分形を導出すると，以下のようになる．

$$\begin{aligned} dV_k = & \sum_{s \in \mathbf{S}} \left[\{u_k(z_{ks}) + v_k(m_{ks}) + Q_k(n_{ks})\} d\phi_{hs} + \phi_{hs} \frac{\partial v_k(m_{ks})}{\partial m_{ks}} dm_{ks} \right] \\ & - \left(\sum_{s \in \mathbf{S}} \lambda_{ks} \right) \left\{ \sum_{i \in \mathbf{I}} x_{ki} d\bar{q}_i + d\tau_k - \Omega_k dw - d\omega_k \right\} \\ & - \sum_{s \in \mathbf{S}} \lambda_{ks} \{ -dg_{ks} + (n_{ks} + T_{ks}) dw + w dT_{ks} + dr_{ks} \} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで，λ_{ks}：式(3)を解く際に用いたラグランジュ乗数．

(3) 合成財企業の行動モデル

合成財企業は，利潤最大化行動をとるものとして以下のように定式化する．

$$\pi_c = \max_{Z_c} Z_c - wl_c(Z_c) - \sum_{i \in \mathbf{I}} \bar{q}_i x_{ci} - \sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{hs} C_{cs} - \varphi_c + \sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{hs} g_{cs} \quad (5)$$

ここで，π_c：合成財生産企業１の利潤，Z_c：合成財生産量，$l_c(Z_c)$：労働投入量，x_{ci}：業務交通サービス需要量，C_{cs}：交通事故による損害，φ_c：合成財企業１における交通安全対策費，g_{cs}：家計から支払われる補償金．

交通事故及び交通安全対策による影響を見るために，利潤の全微分形を導出すると，以下のようになる．

$$d\pi_c = -l_c(Z_c) dw - \sum_{i \in \mathbf{I}} x_{ci} d\bar{q}_i - d\left(\sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{hs} C_{cs} \right) - d\varphi_c + d\left(\sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{hs} g_{cs} \right) \quad (6)$$

(4) 保険会社の行動モデル

保険会社は状態に依らない一定額の保険料を家計から徴収し，生起した交通事故の状態に応じて保険金を支払う．よって，以下のような収支バランスがとれている．

$$\sum_{h \in \mathbf{H}} \sum_{s \in \mathbf{S}} f_h(a_{hs}, \kappa_{hs}) = \sum_{h \in \mathbf{H}} \sum_{s \in \mathbf{S}} \phi_{hs} a_{hs} \quad (7)$$

交通事故及び交通安全対策による影響を見るために，収支の変化を導出すると以下のようになる．

$$\begin{aligned} & \sum_{h \in \mathbf{H}} \sum_{s \in \mathbf{S}} \left\{ \frac{\partial f_h(a_{hs}, \kappa_{hs})}{\partial \kappa_{hs}} d\kappa_{hs} + \frac{\partial f_h(a_{hs}, \kappa_{hs})}{\partial a_{hs}} da_{hs} \right\} \\ & = \sum_{h \in \mathbf{H}} \sum_{s \in \mathbf{S}} (a_{hs} d\phi_{hs} + \phi_{hs} da_{hs}) \end{aligned} \quad (8)$$

(5) 道路管理者の行動モデル

道路管理者もITS技術を活用したなど交通安全対策を実際に行うことから，以下のように財政収支がバランスしているとする．

$$\sum_{h\in\mathbf{H}}\left\{\tau_R+\sum_{i\in\mathbf{I}}p_i(x_{hi}+x_{ki})+\sum_{s\in\mathbf{S}}\phi_{hs}g_{Rs}\right\}+\sum_{i\in\mathbf{I}}p_i x_{ci}=c(x,\theta)+\psi \tag{9}$$

ここで，$c(X,\theta)$：道路ネットワーク維持費，ψ：道路ネットワーク整備費，τ_R：税収，g_{Rs}：家計１からの補償金，g'_{Rs}：合成財企業１からの補償金.

収支バランスの変化は以下のようになる.

$$\sum_{h\in\mathbf{H}}\left\{d\tau_R+\sum_{i\in\mathbf{I}}p_i d(x_{hi}+x_{ki})+\sum_{i\in\mathbf{I}}(x_{hi}+x_{ki})dp_i+d\left(\sum_{s\in\mathbf{S}}\phi_{hs}g_{Rs}\right)\right\} \tag{10}$$
$$+\sum_{i\in\mathbf{I}}p_i dx_{ci}+\sum_{i\in\mathbf{I}}x_{ci}dp_i-dc(x,\theta)-d\psi=0$$

(6) 交通管理者の行動モデル

以下のように財政収支がバランスしているとする.

$$\sum_{h\in\mathbf{H}}\tau_G=\sum_{s\in\mathbf{S}}\phi_{hs}C_{Gs}+\varphi_G \tag{11}$$

ここで，C_{Gs}：交通安全対策の維持費，φ_G：交通安全対策の整備費，τ_G：税収.

収支バランスの変化は以下のようになる.

$$\sum_{h\in\mathbf{H}}d\tau_G-d\left(\sum_{s\in S}\phi_{hs}C_{Gs}\right)-d\varphi_G=0 \tag{12}$$

(7) 均衡条件

(a) 市場均衡条件

合成財市場：$Z_c-\sum_{h\in\mathbf{H}}\sum_{s\in\mathbf{S}}\phi_{hs}(z_{hs}+z_{ks})=0$ (13a)

労働市場：$\sum_{h\in\mathbf{H}}\sum_{s\in\mathbf{S}}\phi_{hs}(l_{hs}+l_{ks})-l_c=0$ (13b)

(b) 配当所得と税の分配

配当所得：$\sum_{h\in\mathbf{H}}(\omega_h+\omega_k)=\pi_c$ (13c)

税　　：$\sum_{h\in\mathbf{H}}(\tau_h+\tau_k)=\sum_{h\in\mathbf{H}}(\tau_R+\tau_G)$ (13d)

(8) 道路ネットワーク

$$t_{is}=\sum_{(\alpha,\beta)\in\mathbf{L}}\delta_{\alpha\beta i}t_{\alpha\beta s}(X_{\alpha\beta},\theta_{\alpha\beta}) \tag{14a}$$

$$\Phi_{is}=\sum_{(\alpha,\beta)\in\mathbf{L}}\delta_{\alpha\beta i}\Phi_{\alpha\beta s}(X_{\alpha\beta},\theta_{\alpha\beta}) \tag{14b}$$

$$X_{\alpha\beta}=\sum_{i\in\mathbf{I}}\delta_{\alpha\beta i}X_i \quad (14c), \qquad X_i=\sum_{h\in\mathbf{H}}x_{hi} \quad (14d)$$

$$\phi_{his}=\Phi_{is}\Phi_h \quad (14e), \quad \phi_{hs}=\frac{\sum_{i\in\mathbf{I}}\phi_{his}x_{hi}}{\sum_{i\in\mathbf{I}}x_{hi}}=\frac{\Phi_h\sum_{i\in\mathbf{I}}\Phi_{is}x_{hi}}{\sum_{i\in\mathbf{I}}x_{hi}} \quad (14f)$$

ここで，$\alpha,\beta\in\mathbf{N}$：ノードを表す添字，$(\alpha,\beta)\in\mathbf{L}$：リンクを表す添字，$t_{\alpha\beta s}(X_{\alpha\beta},\theta_{\alpha\beta})$：交通事故状態別のリンクパフォーマンス関数，$\delta_{\alpha\beta i}$：リンク属性，$X_{\alpha\beta}$：リンク交通量，$\theta_{\alpha\beta}$：リンク交通施設水準，$\Phi_{is}$：経路$i$において交通事故が発生する確率，$\Phi_{\alpha\beta s}(X_{\alpha\beta},\theta_{\alpha\beta})$：リンク$(\alpha,\beta)$において交通事故が発生する確率，$\Phi_h$：家計１が交通事故に遭遇する確率の特性.

経路iにおいて交通事故に遭遇する確率の変化は，以下のようになる.

$$d\phi_{his}=\Phi_{is}d\Phi_h+\Phi_h d\Phi_{is}$$
$$=\Phi_{is}d\Phi_h+\Phi_h\left\{\frac{\partial\Phi_{is}}{\partial X_{\alpha\beta}}\sum_{i\in\mathbf{X}}\delta_{\alpha\beta i}dX_i+\frac{\partial\Phi_{is}}{\partial X_{\alpha\beta}}d\theta_{\alpha\beta}\right\} \tag{15}$$

４．便益の定義

等価的偏差 EV の概念を不確実性下に拡張した便益の定義を用いる．不確実性下では，基準にする状態によって定義が異なる．ここでは Non-contingent EV（非限定 EV）で定義する．

$$EV=\frac{\sum_{s\in\mathbf{S}}\left[\{u_h(z_{hs})+v_h(m_{hs})\}d\phi_{hs}+\phi_{hs}\frac{\partial v_h(m_{hs})}{\partial m_{hs}}dm_{hs}\right]}{\sum_{s\in\mathbf{S}}\lambda_{hs}}$$
$$-\frac{\sum_{s\in\mathbf{S}}\lambda_{hs}\{dg_{hs}+(n_{hs}+T_{hs})dw+wdT_{hs}\}}{\sum_{s\in\mathbf{S}}\lambda_{hs}}$$
$$-\left\{\sum_{i\in\mathbf{I}}x_{hi}d\bar{q}_i+\sum_{s'\in\mathbf{S}}\frac{\partial f_{hs'}(a_{hs'},\kappa_{hs'})}{\partial\kappa_{hs'}}d\kappa_{hs'}+d\tau_h-\Omega_h dw-d\omega_h\right\}$$
$$+\frac{\sum_{s\in\mathbf{S}}\left[\{u_k(z_{ks})+v_k(m_{ks})\}d\phi_{hs}+\phi_{hs}\frac{\partial v_k(m_{ks})}{\partial m_{ks}}dm_{ks}\right]}{\sum_{s\in\mathbf{S}}\lambda_{ks}}$$
$$-\frac{\sum_{s\in\mathbf{S}}\lambda_{ks}\{-dg_{ks}+(n_{ks}+T_{ks})dw+wdT_{ks}\}}{\sum_{s\in\mathbf{S}}\lambda_{ks}}$$
$$-\left\{\sum_{i\in\mathbf{I}}x_{ki}d\bar{q}_i+d\tau_k-\Omega_k dw-d\omega_k-dr_{ks}\right\} \tag{16}$$

５．便益帰着構成表

以上の結果を表３の便益帰着構成表[3)]に整理する.

交通事故による社会的損失は，交通サービス供給の収入，渋滞による損失，交通事故発生確率，保険料，肉体的・精神的被害，金銭的被害，事故による時間喪失，総走行時間価値という項目の変化分として構成されることとなる．また，交通安全対策による社会的純便益は，これに交通安全対策の整備費及び維持費，道路ネットワーク整備費及び維持費を加えたものとなる.

６．おわりに

本研究では，交通事故の社会的費用と交通安全対策の社会的便益を計測できるモデルを構築した．具体的には，交通安全対策による現実的な影響を詳細に捉えた上で，各主体が享受/負担する便益/費用を便益帰着構成表に整理し，主体間のキャンセルアウトを考慮した社会的純便益を導出したものである.

本研究により得られた結果は以下のとおりである.

① 森杉・上田モデルと交通安全研究プロジェクトの具体的な項目を融合させることにより，詳細な項目まで表現

できている実用的な便益計測モデルを開発できた.

以下は森杉・上田の成果と変わらないが記しておく.

② 一般化交通費用が期待値として定義し，交通安全対策による渋滞の減少を利用者便益として表現できた.

③ 交通安全対策は事故当事者の肉体的，精神的，金銭的被害を減少させるだけでなく，他の自動車利用者の交通費用も減少させる．これは道路ネットワーク上での交通安全対策による外部経済効果である.

④ 交通事故発生確率の変化に伴う期待効用水準の変化は，市場と道路ネットワークの中だけで表すことはできない．この便益はドライバーの不安感の減少便益と見なせるオプション価値を意味する.

⑤ 保険市場では，プレミアムによる収入とカバーするための支出の変化は一般的にはキャンセルされない．これは家計と保険会社との間にある情報の非対称性により発生していると考えられる.

【参考文献】

1) Taka UEDA, Hisa MORISUGI : Traffic Safety in Evaluation of Transport Network Improvement, The Fourth Annual Conference on Transportation, Traffic Safety and Hearth, 1998.

2) 交通安全研究プロジェクト：道路交通事故の社会的・経済的損失，日本交通政策研究会，日交研シリーズ A-166, 1994.

3) 上田孝行・髙木朗義：帰着便益構成表，伊多波良雄編著「これからの政策評価－評価手法の理論と実際－」，第４章，中央経済社，1999.

表３　便益帰着構成表

	家計１	家計２	保険会社	合成財企業	道路管理者	交通管理者	計
交通安全対策の整備費，維持費				A4	A5		A
道路ネットワーク整備費及び維持費					B		B
交通サービス供給の収入					C		C
交通利用者便益の変化 (渋滞による損失の変化)	D1	D2		D4			D
交通事故発生確率の変化	E1	E2					E
保険料の変化 (保険運営費の変化)	F1		F3				F
保険金の変化			G				G
賠償金・補償金の変化	H1	H2		H4	H5		0
肉体的・精神的被害の変化	I1	I2					I
金銭的損害の変化		J2		J4			J
時間喪失の変化	K1	K2					K
余暇時間価値・喪失時間価値の変化	L1	L2					L
賃金率の変化	M1	M2		M4			
配当所得の変化	N1	N2		N4			0
一括固定税の変化	O1	O2			O5	O6	0
計	P1	P2	0	0	0	0	P

※　表中の記号は次のとおり.

D1= $-\sum_{i\in I} x_{hi} d\bar{q}_i$, E1= $\dfrac{\sum_{s\in S}\{u_h(z_{hs})+v_h(m_{hs})\}d\phi_{hs}}{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}}$, F1= $-\sum_{s'\in S}\dfrac{\partial f_{hs'}(a_{hs'},\kappa_{hs'})}{\partial \kappa_{hs'}}d\kappa_{hs'}$, H1= $-\dfrac{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}dg_{hs}}{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}}$, I1= $\dfrac{\sum_{s\in S}\phi_{hs}\dfrac{\partial v_h(m_{hs})}{\partial m_{hs}}dm_{hs}}{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}}$, K1= $-\dfrac{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}wdT_{hs}}{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}}$,

L1= $-\dfrac{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}(n_{hs}+T_{hs})dw}{\sum_{s\in S}\lambda_{hs}}$, M1= $\Omega_h dw$, N1= $d\omega_h$, O1= $-d\tau_h$, P1= EV_h , D2= $-\sum_{i\in I} x_{ki} d\bar{q}_i$, E2= $\dfrac{\sum_{s\in S}\{u_k(z_{ks})+v_k(m_{ks})\}d\phi_{hs}}{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}}$, H2= $\dfrac{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}dg_{ks}}{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}}$,

I2= $\dfrac{\sum_{s\in S}\phi_{hs}\dfrac{\partial v_k(m_{ks})}{\partial m_{ks}}dm_{ks}}{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}}$, J2= $-\dfrac{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}dr_{ks}}{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}}$, K2= $-\dfrac{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}wdT_{ks}}{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}}$, L2= $-\dfrac{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}(n_{ks}+T_{ks})dw}{\sum_{s\in S}\lambda_{ks}}$, M2= $\Omega_k dw$, N2= $d\omega_k$, O2= $-d\tau_k$, P2= EV_k ,

F3= $\sum_{h\in H}\sum_{s\in S}\left\{\dfrac{\partial f_h(a_{hs},\kappa_{hs})}{\partial \kappa_{hs}}d\kappa_{hs}+\dfrac{\partial f_h(a_{hs},\kappa_{hs})}{\partial a_{hs}}da_{hs}\right\}$, G= $-\sum_{h\in H}\sum_{s\in S}(a_{hs}d\phi_{hs}+\phi_{hs}da_{hs})$, A4= $-d\varphi_c$, D4= $-\sum_{i\in I}x_{ci}d\bar{q}_i$, H4= $d\left(\sum_{s\in S}\phi_{hs}dg_{cs}\right)$, J4= $-d\left(\sum_{s\in S}\phi_{hs}C_{cs}\right)$,

M4= $-l_c(Z_c)dw$, N4= $-d\pi_c$, B= $-dc(x,\theta)-d\psi$, C= $\sum_{h\in H}\left\{\sum_{i\in I}p_i d(x_{hi}+x_{ki})+\sum_{i\in I}(x_{hi}+x_{ki})dp_i\right\}+\sum_{i\in I}p_i dx_{ci}+\sum_{i\in I}x_{ci}dp_i$, H5= $\sum_{h\in H}d\left(\sum_{s\in S}\phi_{hs}dg_{Rs}\right)$,

O5= $\sum_{h\in H}d\tau_R$, A6= $-d\left(\sum_{s\in S}\phi_{hs}C_{Gs}\right)-d\varphi_G$, O6= $\sum_{h\in H}d\tau_G$ A=A4+A6, D=D1+D2+D4, E=E1+E2, F=F1+F3, I=I1+I2, J=J2+J4, K=K1+K2,

L=L1+L2+M1+M2+M4= $\sum_{i\in I}\bar{t}_i(x_{hi}+x_{ki})dw$, P=A+B+C+D+E+F1+I+J+K+L