

傾斜地における圃場整備が生産環境因子に及ぼす影響

猪熊, 英理奈

九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座灌漑利水学講座

弓削, こずえ

九州共立大学工学部地域環境システム工学科

中野, 芳輔

船越, 保

<https://doi.org/10.15017/4324>

出版情報 : 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 59 (1), pp.43-48, 2004-02-01. 九州大学大学院農学研究院

バージョン :

権利関係 :

傾斜地における圃場整備が生産環境因子に及ぼす影響

猪熊 英理奈¹・弓削 こずえ²
中野 芳輔・舟越 保*

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室
(2003年10月31日受付, 2003年11月14日受理)

Evaluating the Changes of the Productivity Environment Resulted from the Farm Land Consolidation in Hilled Area

Erina INOKUMA¹, Kozue YUGE², Yoshisuke NAKANO
and Tamotsu FUNAKOSHI*

Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science,
Department of Bioproduction Environmental Sciences, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

緒 言

中山間地域における農村では、高齢化の加速や農作業効率の低さにより、農業生産活動は衰退の一途を辿っている。労働生産性は極めて低く1955年の調査では労働時間は1000m²当り320時間であり、全国平均の1.6倍と報告され耕作放棄も著しい。このため農地への農業機械搬入を可能とし耕作条件を向上させることが後継者確保のための必須条件となっている。中山間地域での圃場整備は洪水防止や土砂流亡防止などの多面的機能に大きく寄与しており、こうした地域での農業を保持していくことは日本の農業生産ポテンシャルの維持、国土保全にもつながる。このため中山間地域での積極的な農業支援が求められるが、一方では農業基盤整備事業が環境に与える影響を評価し負荷を軽減するというミティゲーション対策を取り入れて事業を進めていく姿勢が求められている。

本研究では対象地区に福岡県星野村茶屋が谷地区にある茶園を取り上げ、ミティゲーションの観点から、圃場整備事業によって予測される日射環境、土壌環境、土壌温度環境、土壌流出環境等の変化について計算・推定、実測を行い事業が環境に与える影響評価を行った。

日射環境の変化

作物にとって日射は光合成をする上で欠かせない要素である。茶栽培にとっても日射環境は品質に深く関わってくる。また区画整形によって生じる法面の侵食防止に使用される植生にとっても日射は重要な環境要素である。土砂流出・崩壊を防ぎ美しい景観を形成する植生工を実現するためにも適度な日射環境が必要である。そこで60年に一回の干ばつ年である1994年の気象データをもとに傾斜面の受ける日射量を算出し、事業によって日射環境がどのように変化するかを推定し

¹九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座灌漑利水学講座

²九州共立大学工学部地域環境システム工学科

¹Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environmental Science, Department of Bioproduction Environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Science, Kyushu University

²Department of Regional Environmental System Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu-Kyoritsu University

*Corresponding author (E-mail: tfunako@agr.kyushu-u.ac.jp)

た(財団法人日本気象協会福岡本部, 1994).

1. 斜面受光日射量の算出方法

斜面への入射量を求めるには一般的に測定されている水平面全天日射量を利用して任意の傾斜面への入射量を測定する方法がある。これはまず太陽光線を直達放射成分と散乱放射成分とに分離し、斜面に入射する直達成分を入射角から計算し、この直達成分に散乱日射成分と反射成分を加えて斜面における全天日射量を算出する。

気象月報等が掲載する水平面全天日射量 I_H は一日の積算日射量であるため、直達成分と散乱成分に分離するためには時間変化を推定する必要がある。ここでは日射量変化が \cos 曲線で近似できると仮定して、1時間当りの I_H を次式で求める。

$$I_H = \frac{\pi Q}{2 T_0} \cos \frac{\pi}{T_0} (T - 12) \quad (1)$$

ここで、 T_0 : 可照時間(月平均) T : 時刻(太陽時)。大気外日射量 I_0 は次式で求める。

$$I_0 = 1164 + 38 \sin \left\{ \frac{360(89 + D)}{365} \right\} \quad (2)$$

ここで、 D : 1月1日からの積算日数。

大気外の水平面日射量 I_{0H} は太陽高度 h_0 を用いて次式で求める。

$$I_{0H} = I_0 \sin h_0 \quad (3)$$

I_{0H} と I_H との比 p を用いて地上における直達日射量 I_{ND} を求める。

$$p = \frac{I_H}{I_{0H}} \quad (4)$$

$$I_{ND} = 1540p - 470 \quad (5)$$

ただし $I_{ND} > 860$ の時は $I_{ND} = 860$, $I_{ND} < 0$ の時は $I_{ND} = 0$ とする。

水平面の散乱日射量 I_{HS} は次式で求める。

$$I_{HS} = I_H - I_{ND} \sin h_0 \quad (6)$$

ただし $I_{HS} < 0$ の時は $I_{HS} = 0$, $I_{ND} = I_H / \sin h_0$ とする。

また斜面への入射角 i としてその方向余弦は

$$\begin{aligned} \cos i = & \cos \epsilon \sin h_0 + (\cos h_0 \sin \psi) \\ & (\sin \epsilon \sin \phi) + (\cos h_0 \cos \psi) (\sin \epsilon \cos \phi) \end{aligned} \quad (7)$$

である。ここで、 ϵ : 斜面の傾斜角、 ϕ : 斜面の方位角(南を 0° とする)、 ψ : 太陽の方位角。

斜面に入射する直達日射量 I_{PD} は

$$I_{PD} = I_{ND} \cos i \quad (8)$$

であり、斜面に入射する散乱日射量 I_{PS} は

$$I_{PS} = \frac{I_{HS}(1 + \cos i)}{2} \quad (9)$$

である。反射成分 I_{PR} は

$$I_{PR} = \rho \frac{I_H(1 - \cos \epsilon)}{2} \quad (10)$$

で求める。ここで、 ρ : 地面の反射率(乾燥した植質壤土の反射率0.15を採用した)

以上から斜面における全天日射量 I_P は

$$I_P = I_{PD} + I_{PS} + I_{PR} \quad (11)$$

で求められる。

2. 圃場整備による日射環境の変化

対象地区として茶園の圃場整備が予定されている福岡県八女郡星野村茶屋が谷地区を取り上げ、造成によって地区の受ける日射量の変化を推定した。

傾斜面は同じ傾きであっても方位角によって太陽エネルギー量の差が大きく生じてくる。図1は冬の南向き・北向き斜面における受光日射量を示している。この図によると冬場の北向き斜面の受ける日射量は南向き斜面の約1/2倍で非常に少なく、茶の生育にこの差は大きく影響していると考えられる。

茶屋が谷地区の造成予定地を対象とし、事業前の平均勾配 12.4° から事業後の平均勾配 3° に変化した場合、農地造成が日射環境にどのような変化をもたらすかを明らかにした。図2及び図3は(11)式によって求めた7月の日射量分布をGISを用いて表したものである。造成前に比べ造成後は、南向き斜面でとくに日射量が大きく増加し、どの方位でも一様に高い日射量示すようになった。全造成地の受けるエネルギー量は造成前より3%増加した。図4及び図5は造成前と造成後の12月の日射量分布を示している。造成前は不均一な日射量分布が見られるが、造成後では一様な日射量の受光状態を示すようになっている。南向き斜面の日

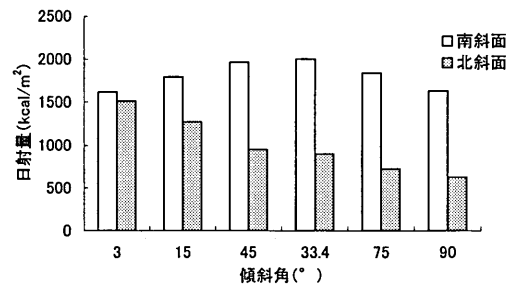


図1 南・北斜面の月間日射量(12月)

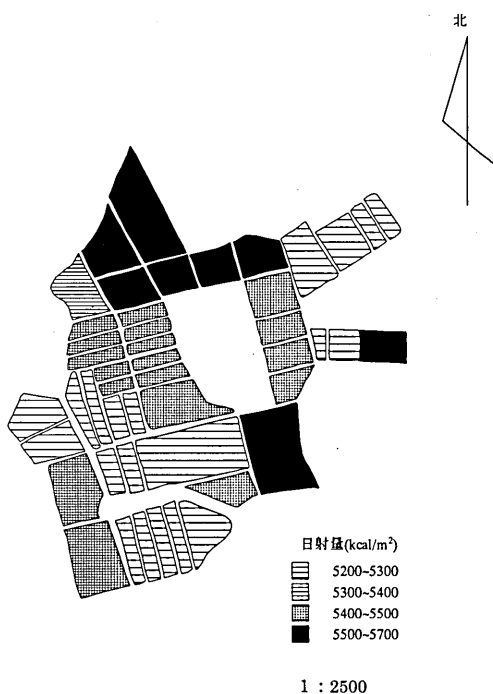


図2 造成前の月間日射量分布(7月)

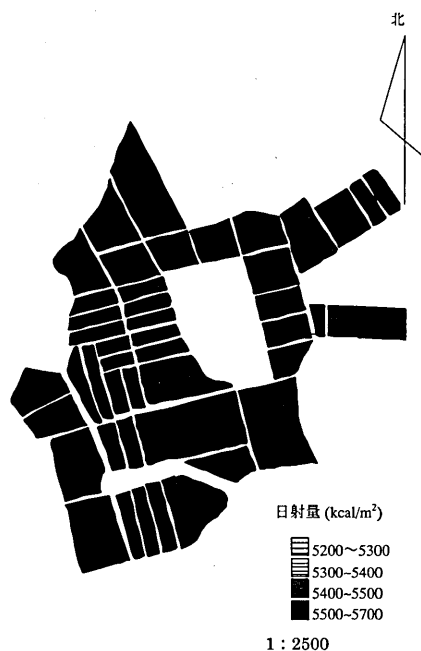


図3 造成後の月間日射量分布(7月)

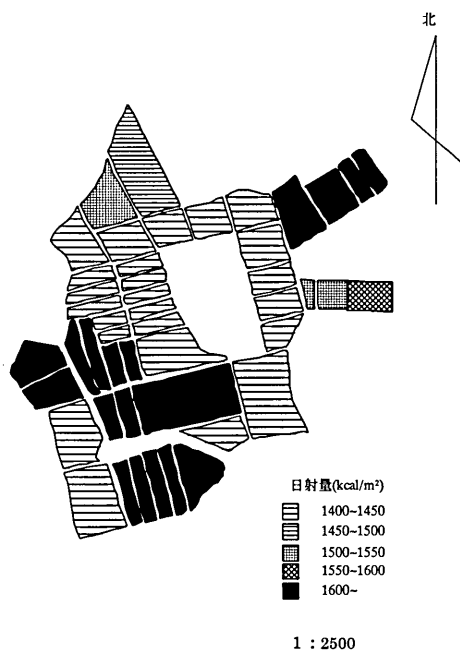


図4 造成前の月間日射量分布(12月)

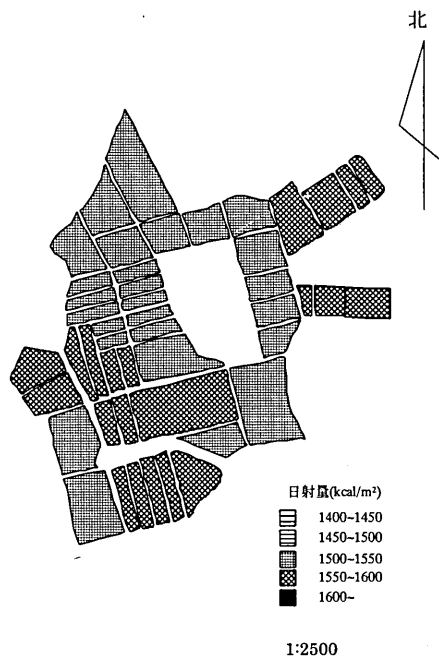


図5 造成後の月間日射量分布(12月)

射量はわずかに減っているものの、造成地の約半分近くを占める北向き斜面の受ける日射量の増加が大きく、全造成地の受ける日射量は約8.5%の増加となった。傾斜の影響は冬季の北斜面で大きくでるため、冬季は夏季よりも高い増加率となった。以上のように、造成により夏季、冬季共に日射の受光量が増加し方位によるエネルギーの差が解消され、茶の生育に均等で高い日射環境を与えると予想される。造成事業によって茶屋が谷地区の茶園は農作業効率の向上の他に生産性の向上にも効果が認められるといえよう。

土壌水分・土壌温度環境の変化

テラス畑の造成では緩勾配の圃場面と同時に1:1~1:1.5の急勾配の新規法面も生じてくる。造成はもとの地形を大幅に改変することから土壌中の水分及び熱環境も変化し、生態系に何らかの影響を及ぼすと考えられる。また、裸地法面は土壌流出を引き起こす原因にもなりうる。そこで1:1.5の傾斜面を持つ実験圃場を作成し、傾斜面の土壌環境を土壌水分、地温、地表面温度分布について調べた。

1. 土壌水分

TDRを南北それぞれの法面上段・中段・下段の3箇所と水平面に1箇所に鉛直に埋設する。上・下段は土壌面鉛直方向に表面から5cm, 15cm, 30cmの深さ、中段は5cm, 15cm, 30cm, 50cm, 水平面はこれに70cmを加えて埋設した。測定期間は1月21日~1月28日の1週間である。

図6は南・北斜面中段部分の深さ別の体積含水率を示したものである。南斜面と北斜面の体積含水率を比較すると南斜面は北斜面の2倍もの日射量を受けるため最大で約5%の減少が見られた。南斜面の深さ5cm地点に注目するとタイムラグはあるが降雨直後は北斜面と同程度の土壌水分を示し、南斜面は北斜面よりも乾燥速度が速く、日射が強い蒸発により土壌水分を急速に消費されることがわかる。また深さ30cm地点でも土壌水分の差は大きく、南北斜面の影響は根群域下端付近の深さまで及ぶことが明らかとなった。次に図7は南・北斜面の深さ30cm地点の場所別体積含水率を示したものである。南斜面では上段及び中段では常に北斜面よりも約5%低い土壌水分となっており、北斜面と南斜面は一定の差を保ったまま同じような変動を示している。南斜面下段については北斜面下段とほぼ変わらない土壌水分の動きを見せており、南斜面上段よりも5%高い値を示している。これは降雨

が表面流となって下段に流れ落ちて溜まり、その後も蒸発による消費水量が下層から補給されるためと考えられる。

以上の観測から、南斜面は日射量を多く受けるため、北斜面よりも常に乾いた環境におかれることがわかる。とくにその上段部では乾燥が進行するため、土粒子同士の吸着力が弱まり収縮が起りやすくなる。よって侵食の危険性が高いと思われる。

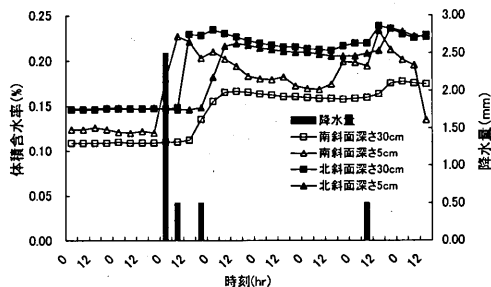


図6 南・北斜面中段における土壌水分

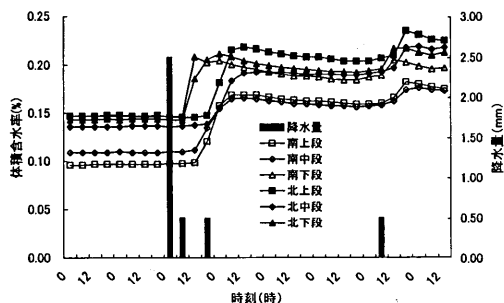


図7 南・北斜面深さ30cmにおける土壌水分

2. 地温

熱電対を南・北斜面のそれぞれ上段・下段に地面と水平になるように設置し、表面から1cm, 3.4cm, 6.7cm, 12.4cm, 22.5cm, 33.7cm, 45cmの深さを測定した。

図8は南斜面上段と下段の地温変化を深さ3点について表したものである。上段、下段ともに一日の温度変化は地表近くで最も大きく、これより深い地点はそれぞれ顕著な差は無くほぼ類似した変動を示している。地表近くにおいては上段が下段よりも2℃から4℃高い温度を保っているが、深さ22.5cm、深さ45cmともに下段の方がわずかに温度が高くなっている。理由としては、傾斜面は蒸発面が大きく、下段は水平

面と接しており蒸発面が小さいためと考えられる。図9に示した北斜面の地温変化と比較すると、北斜面は平均して南斜面よりも1℃から2℃低く、また地温の変動が極めて小さい。上段と下段の温度差は南斜面に比べて小さいのは、上段と下段の蒸発量に大きな違いがないためと考えられる。

以上から、南・北斜面では日射量に大きな違いが生じ、また降雨の斜面流下、蒸発面の相違などで、土壌水分や温度に場所的な相違が表れることがわかった。

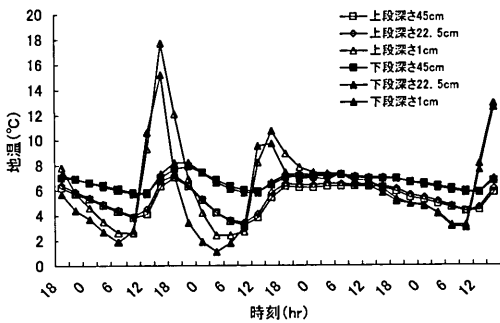


図8 南斜面の上段・下段の地温変化

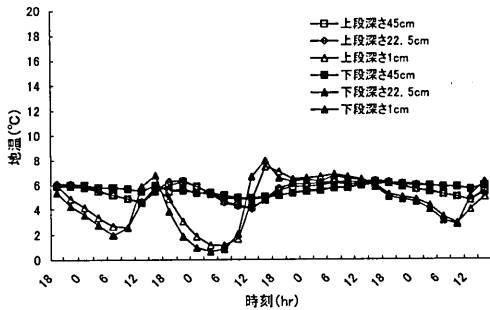


図9 北斜面の上段・下段の地温変化

土壌流出への影響

多大な土工量が移動する造成事業でよく問題となるのは土壌流出の被害である。土壌流出は対象農地のみならず、下流域にまで影響が及ぶ。これを予測し予防策を講じる事は大変重要である(弓削ら, 2001)。

1. 土壌流出予測式

農地の水食による年間流亡予測を知る為に米国農務省土壌保全局における農地保全基準の構成に準拠した土壌流出予測式を用いる(農林水産省構造改善局計画部 1992)。係数の一部は日本の実情に合わせて修

正を加えられている。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (12)$$

ここで、 A ：単位面積当りの年平均流亡土量、 R ：降雨係数、 K ：土壌係数、 L ：斜面長係数、 S ：傾斜係数、 C ：作物係数、 P ：保全係数

2. 流亡予測量の算出

造成施工中および整備後における土壌流亡をそれぞれ(12)式により推定した。許容流亡土量は表土層の厚さと土壌生成環境に支配されるが表土層の厚さが30cm以上あれば平均の侵食層の厚さを1.0mm程度以下に抑制することとし、年間許容流亡土量を1.0~1.5 kg/m²とする。

まず施工中について、降雨係数 R は福岡の月降雨係数から工事実施安全期間のため冬の6ヶ月(10月~3月)とすると32.0となる。

土壌係数 K は茶屋が谷地区の地質に似ていると思われる溶岩凝灰岩(砂質植壤土 SCL)の値を適用して0.32とする。斜面長係数 L と傾斜係数 S は便宜上、地形係数 LS として総合的に取り扱う。地形係数 LS は安全のため現傾斜の最高勾配 θ について20°を一律とし斜面長 l は20mとして次式に当てはめる。

$$LS = \left(\frac{l}{20}\right)^{0.5} (68.19\sin^2\theta + 4.75\sin\theta + 0.068) \quad (13)$$

ここで、 θ ：勾配。従って LS は9.669となる。作物係数 C は施工中裸地であるので1.0とし、 P は工事期間中安全のために平畝、上下耕を基準値とした1.0の2倍とし2.0を与える。以上から施工中の圃場からの流亡土量は(12)式より

$$32.0 \times 0.032 \times 9.669 \times 1.0 \times 2.0 = 19.8(\text{kg/m}^2)$$

となる。従前の農用地面積は22.9・10⁴m²であるので6ヶ月間での推定流亡土量は

$$19.8(\text{kg/m}^2) \times 22.9 \times 10^4(\text{m}^2) = 4534.7 \cdot 10^3(\text{kg})$$

となる。同様に整備後には法地に牧草などの植生工が施されるものと仮定して算出すると、

$$\text{圃場からの流亡量} = 0.47(\text{kg/m}^2)$$

$$\text{法地からの流亡量} = 2.30(\text{kg/m}^2)$$

となる。以上にそれぞれの面積を乗じると、茶屋が谷地区の年間推定流亡量は278.6・10³(kg)となる。ここで法面に植生工を施さず裸地状態とする場合を考えてみる。法地の作物係数 C を裸地の場合の1.0として以

下同様に計算すると、法地からの流亡量は $115.1(\text{kg}/\text{m}^2)$ 、地区の年間推定流亡量は $6731.24 \cdot 10^3(\text{kg})$ となる。

以上の結果から、施工中には短期間にも関わらず甚大な土壌が損失していることが分かる。この土壌流出は農地の生産力低下だけでなく、河川を通じ下流域にまで影響を及ぼすので、マルチ施工や沈砂池の増設など工事中の対策が必要である。整備後については、法面が裸地である時の流亡量は植生工の時の約24倍ともなり、大幅に増加する。よって法地からの流出を深刻に受け止め、コストは割高になるが植生工の施工は必要最低限であると思われる。

傾斜地圃場整備への提言

地理的条件を大幅に変えることで日射環境は向上し作業効率以外に生産性もプラスとなったが、圃場整備によって長大化する法面は深刻な乾燥状態となり、裸地法面のままでは甚大な土砂流出などを引き起こす可能性を持つ。このため整備地では法面植生工を検討する必要がある。一度荒廃した農地を再び農地として使用するの難しい。今後は農作業効率の向上を図ると同時に、圃場整備によって生じる環境変化にも配慮して事業を行うことが重要であると考えられる。その為には農作業効率のみでなく生態系、微気象環境、経済効果など、様々な側面から事業を評価する必要がある。傾斜地に限らず事業を実施する上で総合的な環境影響

評価の基準作りがこれからの課題と言える。

要 約

今後増えると予想される中山間地域での圃場整備において重要になってくるのは、作業効率・生産性の向上のみならず、中山間地域が担う国土の多面的機能の維持・保全である。農地保全の面からも持続的な農村環境の創造が不可欠となっている。本研究では事業が環境に与える変化を日射環境、土壌水分環境、地温環境、土壌流出の4点から考察した。圃場整備は茶の生育を促進する受光日射量の増加をもたらす、労働時間の短縮、省力化において大きな効果を上げる。しかし同時に土壌流出による地力の減退や、乾燥による土壌侵食、生態系や景観の変化などへの影響が生じる可能性を否めない。このマイナス面の影響を防ぐには、事前の様々な視点からの観察や調査、データの蓄積および対応策の検討など、ミティゲーションの立場に立った整備事業のあり方が求められる。

文 献

- 農林水産省構造改善局計画部 1992 土地改良事業計画部指針農地開発(改良畑工). 158-177
 弓削こずえ・落合一奈・中野芳輔 2001 中山間地域における農業・農村整備事業環境保全. 九大農芸誌, 55(2): 227-235
 財団法人日本気象協会福岡本部 1994 福岡県気象月報 平成6年1月-12月

Summary

The important things in agricultural infrastructure improvement are increasing the productivities and efficiencies of work on cultivation. Recently, keeping of multifunctional roles at hilled area is becoming indispensable to establishing the sustainable hilled area.

This time, we consider environmental changes of solar energy, soil moisture, soil temperature and soil erosion, resulted from the land adjustment. Various environmental changes and characteristics are clarified on the agricultural fields with different slopes and azimuths.

Reclamations of the hilled area will improve the productive conditions, but on the other hand, sometimes and unexpectedly bring about the unprofitable conditions on the ecosystem, landscape and soil conservation. For preventing these losses, it would be requested to make observations and to accumulate the data related to environment, and to keep positive attitude on mitigation.